



เครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

ELECTRICAL STIMULATOR FOR MEAT TENDERNESS

นายธีรพงษ์ ลีลา รหัส 48361578  
นางสาวพัชรี วิไลสง รหัส 48361653

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 / พ.ศ. 2553 / .....
เลขทะเบียน..... 15001468
เลขเรียกหนังสือ..... 45.
มหาวิทยาลัยพระนคร

2551

0.2

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระนคร  
ปีการศึกษา 2551



## ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ เครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า  
ผู้ดำเนินโครงการ นายธีรพงษ์ ลีลา รหัส 48361578  
นางสาวพัชรี วิโรตธ รหัส 48361653  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สรารุณี วัฒนวงศ์พิทักษ์  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะกรรมการสอบ โครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ  
(อาจารย์สรารุณี วัฒนวงศ์พิทักษ์)

.....กรรมการ  
(ดร.เกศรียา สุวรรณศรี)

.....กรรมการ  
(ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์)

หัวข้อโครงการ	เครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า
ผู้ดำเนินโครงการ	นายธีรพงษ์ ลีลา รหัส 48361578
	นางสาวพัชรี วิโรตง รหัส 48361653
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ตราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่อให้เนื้อโคมีความนุ่มและมีลักษณะปรากฏน่ารับประทานมากขึ้น โดยเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้านี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือวงจรควบคุมและวงจรกำลัง ในส่วนของวงจรควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เป็นตัวควบคุมสัญญาณเพื่อไปขับมอสเฟตของทบแรงดันและวงจรชอปเปอร์ ซึ่งลักษณะสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม สามารถปรับระดับแรงดันที่ออกมาได้ และส่วนที่เป็นวงจรกำลัง ในส่วนนี้จะประกอบด้วย หม้อแปลง วงจรเรียงกระแส วงจรทบแรงดัน และวงจรชอปเปอร์

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้าโดยทำการทดสอบกับชิ้นเนื้อขนาด 3x3x3 ลูกบาศก์เซนติเมตร และทดสอบคุณภาพของเนื้อโคที่ผ่านการกระตุ้นแล้วด้วยกระบวนการทดสอบทางเคมี ทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส พบว่าชิ้นเนื้อที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ามี่ทั้งความนุ่มขึ้นและน่ารับประทานมากขึ้น และยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับแรงดัน ไฟฟ้าและระยะเวลาในการกระตุ้นส่งผลต่อความนุ่มที่เพิ่มขึ้นของชิ้นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส

<b>Project Title</b>	Electrical Stimulator For Meat Tenderness		
<b>Name</b>	Mr. Theerapong Leelar	ID. 48361578	
	Ms. Patcharee Withaisong	ID. 48361653	
<b>Project Advisor</b>	Mr. Sarawut Wattanawongpitak		
<b>Major</b>	Electrical Engineering		
<b>Department</b>	Electrical and Computer Engineering		
<b>Academic Year</b>	2008		

### ABSTRACT

This project is to create an electric stimulator for making beef softer and more delectable. It includes two parts: control circuit and power circuit. For the control circuit part, the PIC16F877 microcontroller is used to drive MOSFET of boost converter and chopper circuit. The acquired output signal is a direct current with square waveform and the amplitude of output voltage can be adjusted. The power circuit part consists of transformer, rectifier, boost converter circuit, and chopper circuit.

The effectiveness of electric stimulator test is done with pieces of beef with 3 cubic centimeter size. The quality tests of beef are tested by chemical process, physical process, and human sense process. The results show that stimulated beef become softer and more delectable, and the increase in voltage and duration affects the softness of the beef. They are statistically significant and acceptable with human sense.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์สรายุทธ์ วัฒนวงศ์พิทักษ์ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความรู้ทางทฤษฎี แนวคิด ชี้นะแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ อีกทั้งยังช่วยแนะนำแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าข้อมูล เพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนเสียสละเวลาทำงานและเวลาว่างในการตรวจโครงการและชี้แนะข้อบกพร่อง เพื่อแก้ไขจนถูกต้องและเสร็จสมบูรณ์

พร้อมกันนี้ใคร่ขอขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาให้ตั้งแต่ระดับอนุบาล จนถึงระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญยิ่งที่นำมาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้

ขอขอบคุณคุณคุณคมเพชร ทองคอนใหม่ ที่ช่วยให้แนวคิดและคำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยให้กำลังใจ และเป็นแรงบันดาลใจ ให้ความรู้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาที่มีคุณค่าแก่คณะผู้จัดทำโครงการชิ้นนี้เสมอมา

คณะผู้จัดทำโครงการ

นายธีรพงษ์ ลีลา

นางสาวพัชรี วิโรสง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป.....	ซ

## บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	2
1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย .....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ .....	3
1.7 งบประมาณ .....	3

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทํางาน

2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) .....	4
2.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier).....	4
2.1.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier).....	8
2.1.3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) .....	11
2.2 วงจรทบระดับแรงดัน (Boost Converter) .....	15
2.2.1 เงื่อนไขการทํางานของวงจรทบระดับแรงดัน.....	15
2.2.2 หลักการทํางานของวงจรทบระดับแรงดัน.....	15
2.2.3 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก.....	19
2.3 ไดโอดกําลัง (Power Diode).....	20
2.4 มอสเฟตกําลัง (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) .....	22
2.5 วงจรควบคุมสวิตซิ่ง (Switching Regulator) .....	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) .....	23
2.6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 .....	25
2.6.2 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	30
2.7 วงจรชอปเปอร์ (Chopper Circuit).....	30
2.8 เนื้อสัตว์.....	31
2.8.1 ส่วนประกอบของเนื้อสัตว์ .....	31
2.8.2 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์ภายหลังการถูกฆ่า.....	32
2.8.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH).....	33
2.8.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกล้ามเนื้อ.....	34
<b>บทที่ 3 การออกแบบวงจรและการทดสอบวงจร</b>	
3.1 การออกแบบวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า .....	39
3.2 ขั้นตอนการออกแบบและการทดสอบวงจร.....	40
3.2.1 วงจรทระดับแรงดัน .....	40
3.2.2 การสร้างวงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ .....	43
3.2.3 วงจรเรียงกระแส.....	46
3.3 การประกอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า .....	47
<b>บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง</b>	
4.1 วิธีการทดลอง.....	51
4.2 การทดสอบทางเคมี.....	52
4.2- การทดสอบทางกายภาพ .....	53
4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	58
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดสอบ .....	60
5.2 ปัญหาที่พบ .....	61
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป .....	62

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า	
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก ก โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์.....	64
ภาคผนวก ข แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้DMRT..	78
ภาคผนวก ค รายละเอียดของอุปกรณ์.....	92
ประวัติผู้เขียนโครงการ .....	97





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	อัตราขยายแรงดันของวงจรทระดับแรงดันเมื่อมีการปรับค่า D ..... 18
2.2	ชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดของขา และรายละเอียดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ..... 26
3.1	การเปรียบเทียบค่าแรงดันสูงสุดที่ขาออกจากทฤษฎีและจากการทดลองจริงของวงจร เครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า ..... 50
4.1	ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง..... 52
4.2	ผลการทดสอบค่าสี..... 54
4.3	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส..... 59



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วงจรรีขงกระแสแบบครึ่งคลื่น ..... 5
2.2	วงจรรีขงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก ..... 6
2.3	คลื่นแรงดันไฟตรงเมื่อใช้ตัวเก็บประจุรองแรงดัน ..... 6
2.4	วงจรรีขงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบ ..... 7
2.5	คลื่นเมื่อใช้ตัวเก็บประจุเป็นวงจรรอง ..... 7
2.6	วงจรรีขงกระแสเต็มคลื่น ..... 8
2.7	การทำงานของวงจรรีขงกระแสแบบเต็มคลื่นคลื่นรูปที่ ..... 9
2.8	วงจรรีขงกระแสแบบเต็มคลื่น ใช้ตัวเก็บประจุรอง ..... 10
2.9	สัญญาณวงจรรีขงกระแสแบบเต็มคลื่นก่อนและหลังใส่ตัวเก็บประจุ ..... 10
2.10	วงจรรีขงกระแสเต็มคลื่นลบ ..... 11
2.11	วงจรรีขงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ..... 11
2.12	ไดโอด $D_1$ และ $D_2$ ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด ( $V_{out}$ ) ..... 12
2.13	ไดโอด $D_3$ และ $D_4$ ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด ( $V_{out}$ ) ..... 12
2.14	คลื่นแรงดันขาออก เปรียบเทียบกับแรงดันขาเข้า ของวงจรรีขงกระแสแบบบริดจ์ ..... 13
2.15	ค่าแรงดันไฟตรงกับค่าแรงดันไฟสูงสุด $V_p$ ของวงจรรีขงกระแสแบบเต็มคลื่น ..... 13
2.16	ค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรรีขงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ..... 14
2.17	วงจรถบระดับแรงดัน ..... 15
2.18	วงจรมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส ..... 16
2.19	แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ..... 16
2.20	วงจรมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ..... 17
2.21	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับ $D$ ..... 19
2.22	กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ ..... 19
2.23	รูปทั่วไปของไดโอดกำลัง และรูปลักษณะและสัญลักษณ์ของไดโอด ..... 21
2.24	ไดโอดขณะหยุดนำกระแส ..... 21
2.25	มอสเฟตกำลัง ..... 22
2.26	วงจรถวมคุมสวิตซ์ ..... 23
2.27	สัญญาณแรงดันเอาต์พุต ..... 23
2.28	ลักษณะของบอร์ด CP-PIC V3.0 ..... 24

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 ชื่อและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F977 .....	26
2.30 วงจรชอปเปอร์แบบเพิ่มแรงดัน .....	30
2.31 แสดงการลดค่าของ pH หลังสัปดาห์ .....	34
3.1 แผนภาพการทำงานของวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า.....	39
3.2 ตัวเหนี่ยวนำที่ได้ทำการออกแบบให้เหมาะสมกับเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า .....	40
3.3 วงจรทบทระดับแรงดันที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Pspice .....	41
3.4 ผลการจำลองวงจรทบทระดับแรงดันที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Pspice.....	41
3.5 แผงวงจรทบทระดับแรงดัน .....	42
3.6 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรทบทระดับแรงดัน .....	42
3.7 วงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรจับสัญญาณที่ได้ทำการออกแบบไว้.....	43
3.8 แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรจับสัญญาณ.....	44
3.9 การประกอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรจับสัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ..	44
3.10 สัญญาณที่ขาออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัญญาณในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม.....	45
3.11 สัญญาณขาออกเมื่อประกอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรจับสัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว.....	45
3.12 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ได้ทำการออกแบบไว้.....	46
3.13 แผงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	46
3.14 สัญญาณกระแสที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ .....	47
3.15 แผนภาพการจำลองของการประกอบวงจรทั้งหมด.....	48
3.16 การประกอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้ชุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าเข้าด้วยกัน .....	48
3.17 ตัวอย่างแบบสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่ 50 เฮอร์เซ็นต์ .....	49
3.18 สัญญาณทางขาออกของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า.....	50
4.1 การกระตุ้นเนื้อโคด้วยเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า.....	51
4.2 การวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น DP9000 SH90905 .....	53
4.3 สเกลเปรียบเทียบค่าสีของชิ้นเนื้อ L, a, b .....	55

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 การวัดค่าแรงตักขาด โดยใช้เครื่อง Instron รุ่น 4411.....	56
4.5 ค่าแรงตักขาดของชิ้นเนื้อที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ และ 90 โวลต์.....	57
4.6 แบบสอบถามเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสเรื่องความนุ่มของเนื้อโต.....	58



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื้อนุ่ม (Meat Tenderness) ถือเป็นคุณภาพที่สำคัญของเนื้อโคต่อการบริโภค ซึ่งในอุตสาหกรรมเนื้อโคไม่ว่าจะเป็นการจำหน่ายในรูปของเนื้อสด เนื้อแช่แข็ง เนื้อแช่เย็น หรือผลิตภัณฑ์เนื้อ แม้แต่อาหารประเภทสติก จำเป็นต้องอาศัยปัจจัยของความนุ่ม เป็นหลัก ซึ่งในกระบวนการฆ่าสัตว์ ในระบบการฆ่าแบบได้มาตรฐาน จะมีขั้นตอนของการบ่มเนื้อโค (Ageing) เข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อปรับสภาพการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (Rigor Mortis) เพื่อให้ได้เนื้อที่มีคุณภาพดี และมีความนุ่มเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งกระบวนการทำให้เนื้อนุ่มนั้นมีด้วยกันหลายวิธีเช่น วิธีที่หนึ่ง การบ่มเนื้อโคที่อุณหภูมิต่ำ ผู้ประกอบการจะต้องมีห้องแช่เย็นเพื่อรองรับการบ่มเนื้อโค และใช้ระยะเวลาในการบ่มเนื้อ โคมากกว่า 1 สัปดาห์ วิธีที่สอง การฉีดน้ำซึ่งมีส่วนผสมของเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีน ผสมอยู่เข้าไปในเส้นเลือดใหญ่ของสัตว์ก่อนการฆ่า แต่ปัญหาที่พบไม่สามารถควบคุมปริมาณหรือระยะเวลาและกิจกรรมของเอ็นไซม์ได้จึงทำให้คุณภาพความนุ่มของเนื้อไม่สม่ำเสมอ วิธีที่สาม เป็นการใช้แรงกล อาจทำได้โดยการแขวนเนื้อโคที่กระดูกสะโพกแทนการแขวนที่เส้นเอ็นเพื่อลดความตึงตัวของกล้ามเนื้อหรือการทุบด้วยอุปกรณ์ทุบเนื้อ แต่จะส่งผลกระทบต่อลักษณะปรากฏของเนื้อ ทางเลือกใหม่ก็คือ การกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrical Stimulation) ซึ่งวิธีการนี้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมมาเป็นเวลานาน ส่งผลให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น, ใช้ระยะเวลาสั้น, สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่เครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบันมีราคาสูง ถ้ามีการพัฒนาเพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสม ราคาถูกกว่าเดิมและสะดวกในการใช้มากขึ้น จึงได้กำหนดโครงการวิจัยนี้ขึ้นเพื่อเป็นการช่วยพัฒนาคุณภาพของเนื้อโค ช่วยลดต้นทุนของกระบวนการผลิตและเพิ่มมาตรฐานของผู้ประกอบการขนาดเล็ก ทั้งยังทำให้ผู้บริโภคได้บริโภคเนื้อที่มีคุณภาพดีและมีความนุ่ม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า
2. เพื่อสร้างเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้าต้นแบบเพื่อใช้งานในชุมชน
3. เพื่อพัฒนาคุณภาพเนื้อโคให้มีคุณภาพและมีความนุ่ม



## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. นำความรู้ที่ได้ศึกษามาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า
2. เป็นต้นแบบในการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย
3. เป็นการเพิ่มคุณค่าทางด้านความนุ่มให้กับเนื้อโค และความพึงพอใจต่อผู้บริโภคเนื้อโค
4. เป็นการเพิ่มมาตรฐานให้กับผู้ประกอบการขนาดเล็กในการผลิตเนื้อโคคุณภาพด้านความนุ่ม
5. เป็นการลดต้นทุน ลดขั้นตอน และระยะเวลา ในการผลิตเนื้อโคคุณภาพด้านความนุ่ม

## 1.7 งบประมาณ

ค่าใช้จ่ายในการทำโครงการ	15,000 บาท
ค่าเอกสารและเช่าเล่ม โครงการฉบับสมบูรณ์	500 บาท
รวมเป็นเงิน (หนึ่งหมื่นห้าพันห้าร้อยบาทถ้วน)	<u>15,500 บาท</u>
หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้านั้นต้องคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของเนื้อโค เนื่องจากก่อนการฆ่าโคและหลังการฆ่าโคลักษณะทางกายภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงไป และการออกแบบวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า ได้แบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นวงจรควบคุม ในส่วนนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เป็นตัวควบคุมสัญญาณเพื่อขับมอเตอร์ของวงจรทบทแรงดัน (Boost Converter) และของวงจรชอปเปอร์ (Chopper) และส่วนที่เป็นวงจรกำลัง ในส่วนนี้จะประกอบด้วยหม้อแปลง วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) วงจรทบทแรงดัน วงจรชอปเปอร์ ในการออกแบบวงจรมันมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

#### 2.1 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสตรงออกมาทางเอาต์พุต วงจรเรียงกระแสที่ใช้งานมีด้วยกัน 3 แบบคือ

- 2.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier)
- 2.1.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)
- 2.1.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier)

##### 2.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

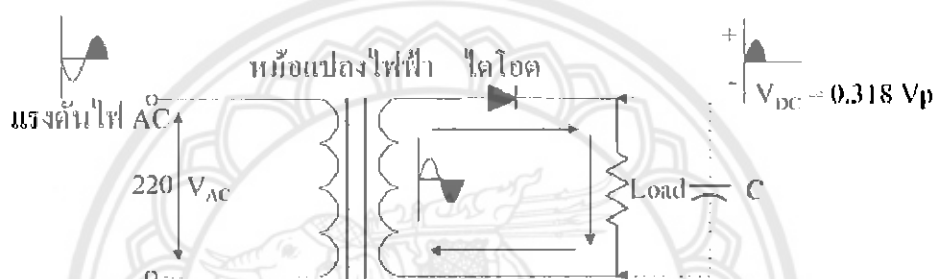
วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรง (AC to DC) โดยใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว อาศัยคุณสมบัติของไดโอดตรงที่สามารถนำกระแสได้ทางเดียว แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ ที่ยังไม่เรียบ แรงดันนี้จะไม่สามารถนำไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ จะต้องผ่านการกรองให้เรียบก่อน แรงดันเอาต์พุตที่ได้เมื่อเทียบกับแรงดันอินพุตยังมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งจะศึกษาในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

1. ลักษณะวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น
2. การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น
3. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นบวก
4. วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นลบ



### 1. ลักษณะวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตัดเอาแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาอาจเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบแล้วแต่การจัดวงจร ไดโอด แรงดันที่ส่งออกเอาท์พุทจะเป็นช่วงๆ คือช่วงมีแรงดันและช่วงไม่มีแรงดันสลับกันไป วงจรประกอบด้วยไดโอดตัวเดียวดังรูปที่ 2.1 การทำงานของวงจร ไฟกระแสสลับจะมาปรากฏที่ขาแอนโอด โดยไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ทางเดียว คือช่วงที่ได้รับ ไบอัสตรง ดังนั้นวงจรจะมีกระแสไหลเพียงช่วงบวกของไฟสลับเท่านั้น ถ้าช่วงลบจะไม่มีกระแสไหล แรงไฟตรงที่เอาท์พุทนี้ยังนำไปใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้ เพราะเป็นไฟตรงที่ไม่เรียบพอ เรียกว่า “พัลส์กระแสตรง” (Pulse DC) จึงต้องมีการกรอง (Filtering) ให้เรียบ โดยใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่กรอง



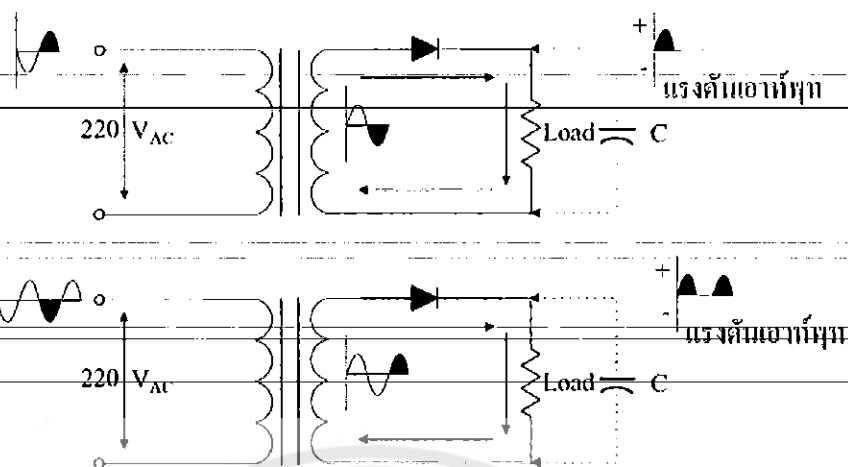
รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

### 2. การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

การเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น มีลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.1 การทำงานเมื่อจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้าทางขดปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้ามายังขดทุติยภูมิ (Secondary) การเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลง เฟสของสัญญาณเข้ากับเฟสของสัญญาณออกจะต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา เมื่อขั้วบนของขดปฐมภูมิได้รับเฟสลบ ขั้วล่างเทียบได้เฟสบวก จะทำให้ขดทุติยภูมิขั้วบนเป็นเฟสบวก ขาแอนโอด (A) ของไดโอดได้รับแรงดันซีกบวก ขาแคโทด (K) ได้รับแรงดันซีกลบเป็นผลให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดนำกระแส มีกระแสไหลเข้าขาแอนโอด ออกขาแคโทดผ่านโหลด (Load) ครบวงจรที่ขั้วล่างของทุติยภูมิ มีแรงดันซีกบวกตกคร่อมที่โหลด

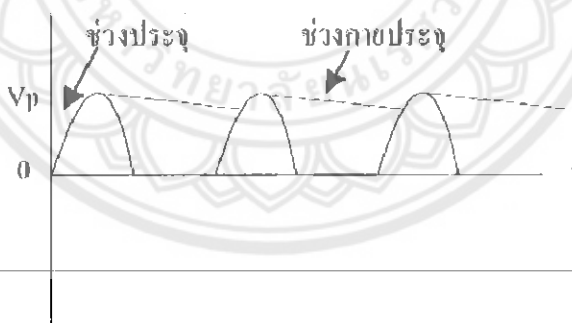
ในช่วงเวลาต่อมาครึ่งไซเคิลหลังของไฟสลับ ขั้วบนของทุติยภูมิเป็นเฟสลบ ขั้วล่างเทียบศักย์ได้เป็นเฟสบวก ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขาแอนโอดของไดโอดได้รับแรงดันซีกลบและขาแคโทดได้รับแรงดันซีกบวก ไดโอดได้รับไบอัสกลับจะไม่นำกระแสเป็นผลให้ไม่มีแรงดันปรากฏที่โหลด ในรอบต่อมาการทำงานก็จะเป็นไปตามลักษณะเดิมซ้ำๆ กันไปเรื่อยๆ โดยมีแรงดันปรากฏที่เอาท์พุทเป็นช่วงๆ (ช่วงเว้นช่วง) นอกจากนี้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นยังสามารถแบ่งออกเป็นวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นบวกและวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นลบ

### 3. วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น



รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

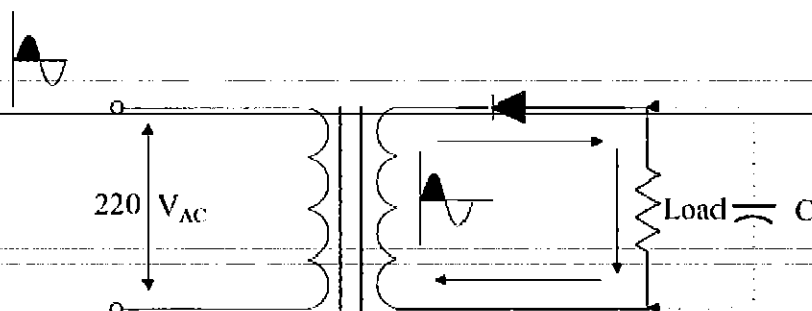
เป็นการจัดวงจรไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกบวกของไฟสลับดังรูปที่ 2.2 ทำให้แรงดันที่ได้จากการเรียงกระแสออกมาที่เอาต์พุตเพียงช่วงบวกของไฟสลับเท่านั้น แรงดันไฟตรงเฉลี่ยสามารถคำนวณหาได้จากสูตร  $V_{DC} = 0.318 \times V_p$  หรือ  $V_{DC} = 0.45 \times V_{AC}$  แต่แรงดันไฟตรงที่ได้จะยังไม่เรียบมีลักษณะเป็นพัลส์ที่เรียกว่าพัลส์กระแสตรง ในการใช้งานจะต้องทำการกรองให้เรียบโดยใช้ตัวเก็บประจุทำการกรอง ก็จะทำให้แรงดันที่ได้เรียบขึ้นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงเมื่อใช้ตัวเก็บประจุกรองแรงดัน

จากรูปที่ 2.3 พัลส์กระแสตรง ที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะเป็นซีกบวกตัวเก็บประจุจะทำการประจุแรงดันในช่วงที่พัลส์กระแสตรงมีค่าเพิ่มขึ้นและจะคายประจุในช่วงที่พัลส์กระแสตรงมีค่าลดลงจะเป็นไปในลักษณะเช่นนี้เรื่อยๆ แรงดันกระแสตรงที่ได้จะเรียบขึ้นตัวเก็บประจุมีค่ามากแรงดันไฟตรงที่ได้ก็ยิ่งมีความเรียบขึ้น (ตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ค่ามากเกินไปมีผลเสียกับไดโอด) แรงดันไฟตรงที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวเก็บประจุ จะประจุแรงดันสูงสุดของแรงดันพิกจึงทำให้แรงดันเพิ่มสูงขึ้น

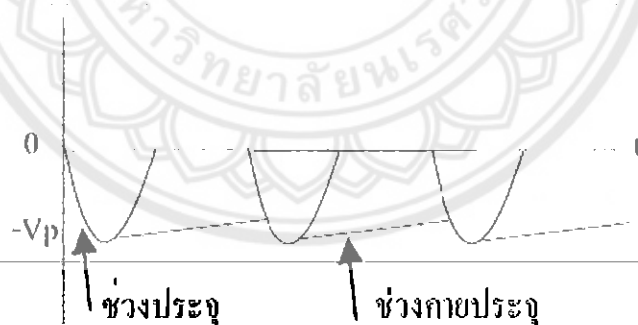
#### 4. วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น



รูปที่ 2.4 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

เป็นการจัดวงจร ไดโอดให้นำกระแสเฉพาะซีกลบของไฟสลับก็จะได้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จากรูปที่ 2.4 เมื่อขั้วบนของขดทุติยภูมิได้รับเฟสลบ ขั้วล่างเทียบศักย์ได้เฟสบวก จะทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดสามารถนำกระแสได้ กระแสจะไหลจากขั้วล่างของหม้อแปลงผ่านโหลดเข้าทางขาแอนโอด ออกทางแคโทดครบวงจรที่ขั้วบนของหม้อแปลงลักษณะเช่นนี้จะทำให้ขั้วบนของโหลดมีศักย์เป็นลบขั้วล่างมีศักย์เป็นบวก

เมื่อขั้วบนของหม้อแปลงได้รับเฟสบวกขั้วล่างเทียบศักย์ได้เฟสลบ จะทำให้ไดโอดไม่สามารถนำกระแสได้ เพราะไดโอดได้รับไบอัสกลับ จึงหวนนี้จึงไม่มีแรงดันออกมาที่โหลด



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นเมื่อใช้ตัวเก็บประจุเป็นวงจรกรอง

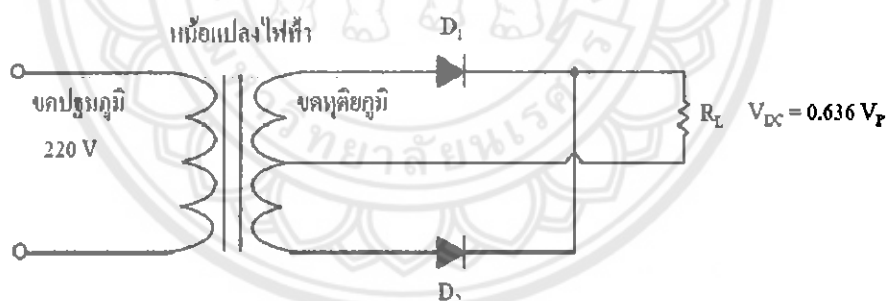
เมื่อต่อตัวเก็บประจุเข้าไปในวงจรดังรูปที่ 2.5 ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่ประจุแรงดันเอาไว้ในช่วงแรงดันที่มีค่าสูง และจะคายประจุในช่วงแรงดันที่มีค่าลดลง โดยเสริมรูปคลื่นที่ขาดหายไปให้เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เป็นการทำให้แรงดันที่ไม่เรียบมีความเรียบยิ่งขึ้น การใช้วงจรเรียงกระแสแบบนี้จะได้ไฟกระแสตรงออกมาในลักษณะพัลส์ครึ่งคลื่นเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกที่ได้จะเห็นว่าประสิทธิภาพต่ำ คือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

### 2.1.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จะใช้ไดโอด 2 ตัวในการเรียงกระแสโดยใช้หม้อแปลงแบบมีแท่งกลางเป็นตัวแบ่งเฟสให้ไดโอด โดยไดโอดจะนำกระแสครั้งละตัวในแต่ละครึ่งของไฟสลับที่เข้ามา ทำให้ได้แรงดันที่เอาต์พุตตลอดช่วงของแรงดันไฟสลับที่เข้ามา วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีสองแบบ คือ แบบที่ใช้หม้อแปลงมีแท่งกลางร่วมกับไดโอด 2 ตัว และแบบที่มีไดโอดบริดจ์ 4 ตัวและหม้อแปลงไม่จำเป็นต้องมีแท่งกลางก็ได้ แรงดันขาออกที่ได้จะสูงขึ้นกว่าแบบเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นเป็นสองเท่า

#### 1. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น จะสามารถเรียงแรงดันไฟสลับให้ออกได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาที่อินพุตของวงจร โดยไม่มีส่วนใดของแรงดันไฟสลับถูกตัดทิ้งไป ลักษณะของวงจรจะใช้ไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟสลับเป็นสัญญาณไฟตรง โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแท่งกลาง (Center Tap) ทำหน้าที่แบ่งเฟสให้เกิดการต่างเฟสกัน 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกจากส่วนบนและส่วนล่างของขดทุติยภูมิของ หม้อแปลงเพื่อให้ไดโอดทั้ง 2 ตัวสลับกันทำงาน ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายกระแสได้เรียบและสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นดังรูปที่ 2.6

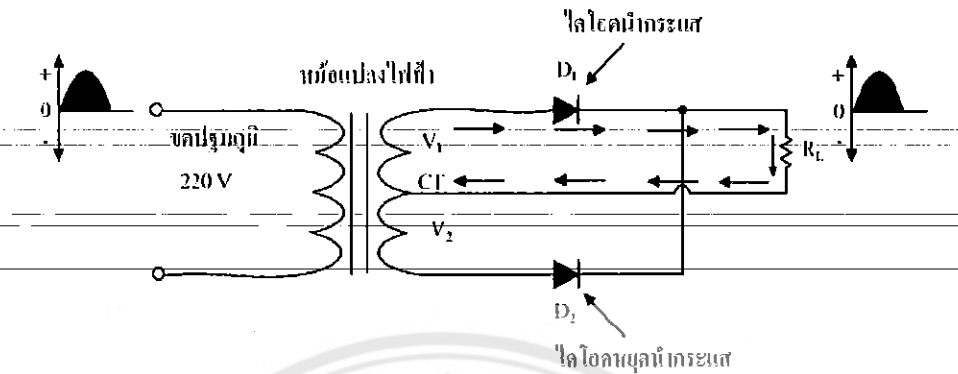


รูปที่ 2.6 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

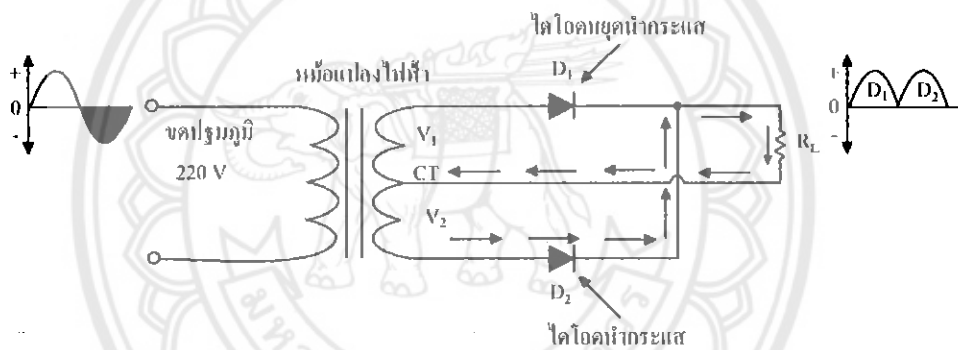
#### 2. การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงมีแท่งกลาง

เมื่อมีแรงดันไฟสลับ  $V_{IN}$  ป้อนเข้าขดปฐมภูมิของหม้อแปลงจะเกิดแรงดันไฟสลับขึ้นที่ขั้วบนและขั้วล่างของขดทุติยภูมิที่แท่งกลางของหม้อแปลงจะกำหนดให้มีแรงดัน 0 โวลต์ ดังนั้นแรงดันครึ่งหนึ่งจึงเกิดที่แท่งกลางกับขั้วด้านบนของหม้อแปลง และอีกครึ่งหนึ่งจะเกิดขึ้นที่แท่งกลางกับอีกขั้วด้านล่างของหม้อแปลง โดยระหว่างขั้วด้านบนและขั้วด้านล่างจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา การทำงานของวงจรเมื่อขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นบวก ขั้วล่างมีแรงดันเป็นลบ

ไดโอด  $D_1$  จะได้รับไบอัสตรง นำกระแสมีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านโหลด  $R_L$  ไปครบวงจรที่ขั้วแท็บ ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด  $R_L$  เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่น ดังรูปที่ 2.7



ก) การนำกระแสของไดโอด  $D_1$



ข) การนำกระแสของไดโอด  $D_2$

รูปที่ 2.7 การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นคลื่นรูปที่

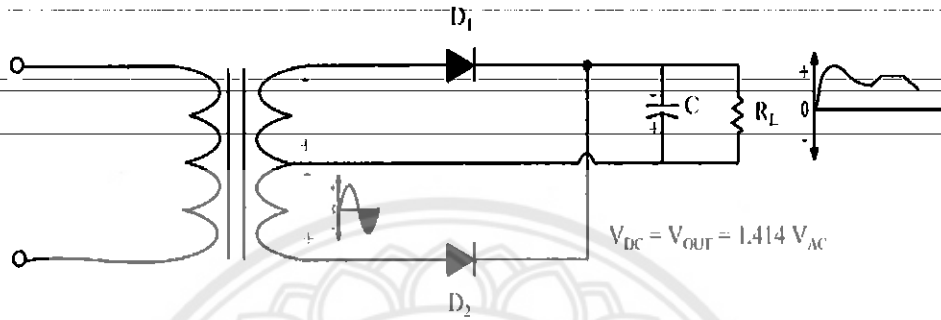
ในช่วงเวลาต่อมา ขั้วบนของขดทุติยภูมิมีค่าแรงดันเป็นลบ ขั้วล่างมีค่าแรงดันเป็นบวก ไดโอด  $D_1$  จะได้รับไบอัสกลับ ไดโอด  $D_2$  ได้รับไบอัสตรงเกิดการนำกระแส มีกระแสไหลผ่านไดโอดผ่านโหลด  $R_L$  ไปครบวงจรที่ขั้วแท็บทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่โหลด  $R_L$  เป็นคลื่นรูปไซน์ครึ่งคลื่นด้านบวกปรากฏที่เอาต์พุต—แรงดันไฟตรงเฉลี่ยที่ได้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$V_{DC} = 0.636 \times V_p \text{ แต่แรงดัน } V_p \text{ เป็นแรงดันค่ายอดสูงสุดสามารถคำนวณหาได้จากสูตร } V_p = 1.414 \times V_{AC} \text{ หรือจะคำนวณหาค่าแรงดันไฟตรงได้จากสูตร } V_{DC} = 0.9 \times V_{AC}$$

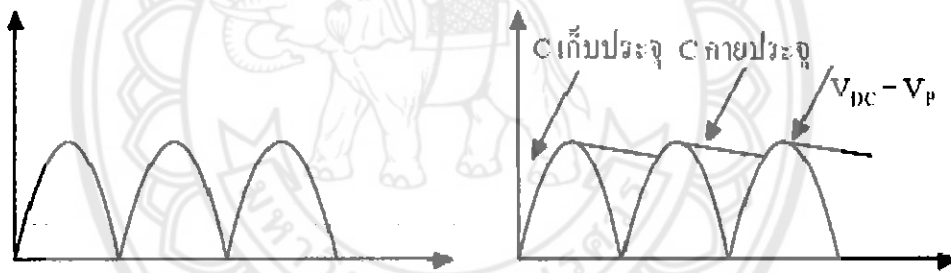
### 3. วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter)

แรงดันได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นยังมีระลอกคลื่นปนอยู่ปริมาณสูง ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน จะต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรองก่อนที่จะนำไปใช้งาน วงจรกรองแบบที่ง่ายและนิยมที่สุดก็คือ วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ โดยใช้ตัวเก็บประจุ  $C$

ต่อขนานกับตัวต้านทาน โหลด  $R_L$  ดังรูปที่ 2.8 ตัวเก็บประจุ  $C$  จะทำหน้าที่เก็บประจุ ไว้ในช่วงเวลา ไดโอดนำกระแสและทำหน้าที่คายประจุผ่านตัวต้านทาน โหลดในช่วงเวลาที่ไดโอดไม่นำกระแส การทำงานของวงจรกรองจะทำการกรองแรงดันไฟตรงที่ยังไม่เรียบให้มีความราบเรียบยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.9 สามารถนำไปใช้งานกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ อีกทั้งแรงดันไฟตรงที่ได้เมื่อผ่านการกรองแรงดันแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยคำนวณหาได้จากสูตร  $V_{DC} = V_P = 1.414 \times V_{AC}$



รูปที่ 2.8 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นใช้ตัวเก็บประจุกรอง

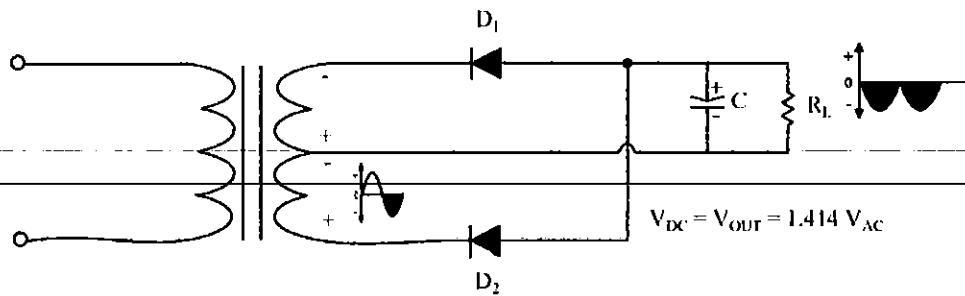


ก. การเรียงกระแสของไดโอด

ข. ใช้ตัวเก็บประจุกรอง

รูปที่ 2.9 รูปสัญญาณวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นก่อนและหลังใส่ตัวเก็บประจุ

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นนั้น ไดโอดทั้งสองตัวจะผลัดกันทำงานคนละครึ่งไซเคิล ทำให้การเรียงกระแสออกมาครบทั้งซีกบวกและซีกลบ จากวงจรรูปที่ 2.9 เป็นการเรียงกระแสให้ออกมาเป็นซีกบวกเรียงกันไป แต่ถ้าต้องการเรียงกระแสให้ออกมาเป็นซีกลบก็สามารถทำได้ โดยการกลับขั้วไดโอดทั้งสองเสียใหม่ดังรูปที่ 2.10



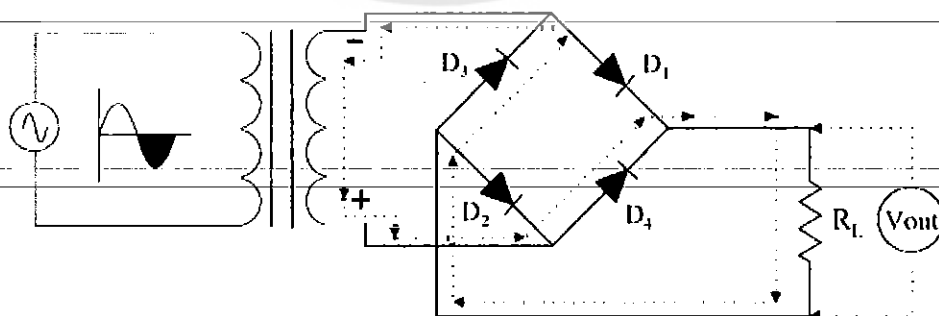
รูปที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น

### 2.13 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เป็นวงจรที่แก้ไขจุดอ่อนของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงที่มีเซ็นเตอร์แท็ปซึ่งมีราคาแพง ไลโอคจะนำกระแสครึ่งละตัวทำให้ทำงานหนัก ส่วนวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงเซ็นเตอร์แท็ป ทำให้ประหยัดขึ้นและไลโอคจะนำกระแสครึ่งละสองตัว ทำให้ไลโอคทนแรงดันสูงขึ้น เอ้าท์พุทของวงจร ตลอดจนรูปร่างจะมีลักษณะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทุกอย่าง

#### 1. วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

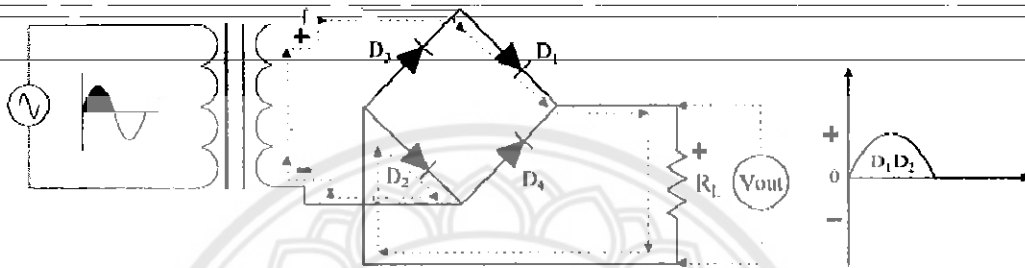
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์มีลักษณะเหมือนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะแรงดันเอ้าท์พุทที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์และแบบเต็มคลื่นธรรมดา ต่างกันตรงการต่อวงจรไลโอค แบบเต็มคลื่นจะใช้ไลโอค 2 ตัว แบบบริดจ์จะใช้ไลโอค 4 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็แตกต่างกัน แบบเต็มคลื่นธรรมดาใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง (Center Tap, CT) มี 3 ขั้ว แบบบริดจ์ใช้หม้อแปลง 2 ขั้วหรือ 3 ขั้วก็ได้ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

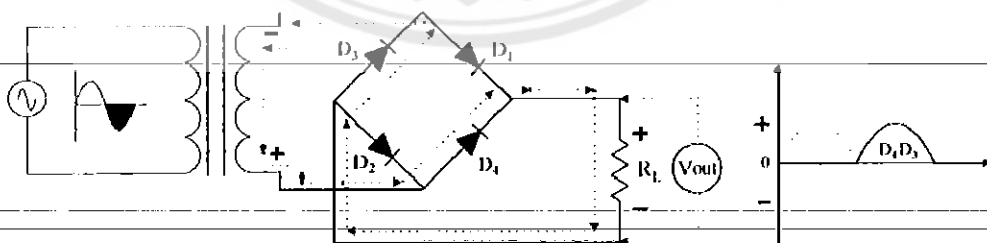
## 2. การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การทำงานของวงจร ไดโอดจะผลัดกันนำกระแสครึ่งละสองตัว โดยเมื่อไซเคลลบวกของแรงดันไฟสลับ ( $V_{in}$ ) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงและด้านล่างจะเป็นลบ จะทำให้ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_1$  ผ่านโหลด  $R_L$  ผ่านไดโอด  $D_2$  ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านล่าง มีแรงดันตกคร่อมโหลด  $R_L$  ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด ( $V_{out}$ )

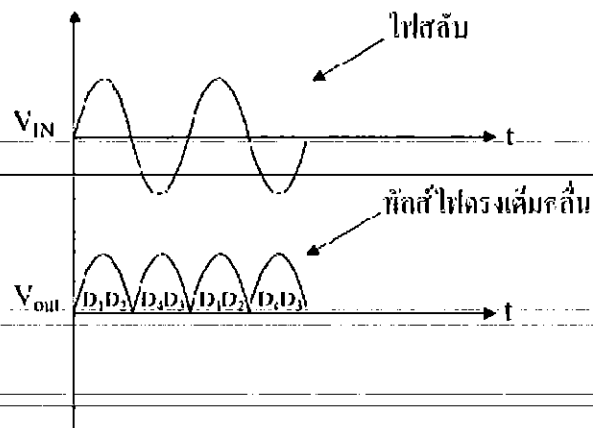
ในช่วงเวลาต่อมาไซเคลลบวกของแรงดันไฟสลับ ( $V_{in}$ ) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง และด้านล่าง เป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 3 ในช่วงเวลานี้ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  จะได้รับไบอัสกลับแต่ไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  จะได้รับไบอัสตรง ดังรูปที่ 2.13 ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_4$  ผ่านโหลด  $R_L$  และผ่านไดโอด  $D_3$  ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านบน มีแรงดันตกคร่อมโหลด  $R_L$  ด้านบนเป็นบวกด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุตทำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด ( $V_{out}$ )



(f)

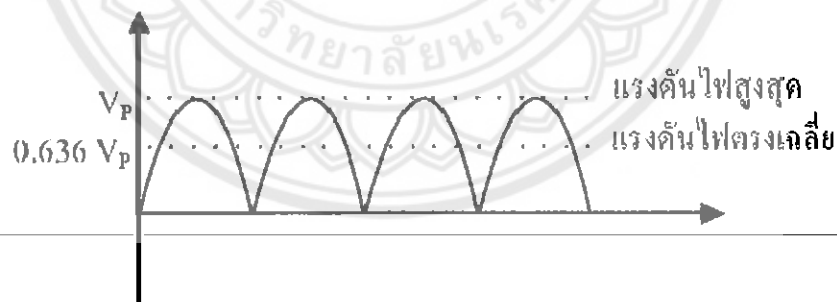


รูปที่ 2.14 รูปคลื่นแรงดันขาออก เปรียบเทียบกับแรงดันขาเข้า ของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

### 3. แรงดันเอาต์พุตของวงจร

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทั้งแบบมีแท็ปกลางและแบบบริดจ์จะให้แรงดันขาออกทุกๆ เครื่องรอบของแรงดันไฟสลับที่เข้ามาทั้งซีกบวกและซีกลบ ค่าเฉลี่ยของแรงดันขาออกจึง มีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าแรงดันขาออกมีค่าเป็น 0.636 เท่าของแรงดันไฟสูงสุดดังสมการที่ 2.1

$$V_{DC} = 0.636 \times V_p \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.15 แสดงค่าแรงดันไฟตรงกับค่าแรงดันไฟสูงสุด  $V_p$  ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

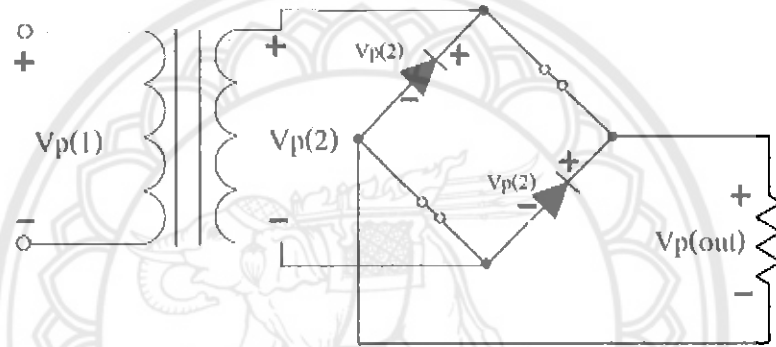
### 4. แรงดันสูงสุดด้านกลับ (Peak Inverse Voltage: PIV)

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์จะมีค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับ น้อยกว่าวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท็ปครึ่งหนึ่ง เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 2.16 (ก) เมื่อไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  นำกระแส ไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  จะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ปิดวงจร (ถ้าไม่คิดแรงดันตกคร่อมไดโอด) จะเห็นว่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่ตกคร่อมไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  ที่ได้รับไบอัสกลับจะมีค่าเท่ากับแรงดันพีก ( $V_p$ )

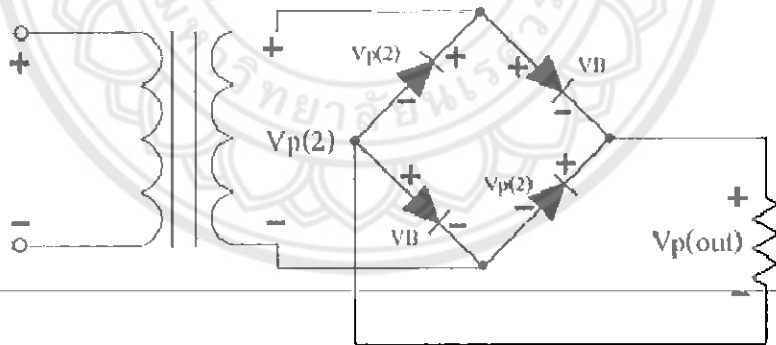
ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  นำกระแส ( $V_B$ ) ดังรูปที่ 2.16 (ข) จะเห็นว่าแรงดัน PIV ที่เกิดกับไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  จะหาได้ จากสูตร

$$PIV = V_{P(out)} + V_B \quad (2.2)$$

เช่นเดียวกันถ้าหากว่าต้องการใช้ไฟตรงที่เรียงกระแสออกมาเรียบขึ้นเราก็ต้องใช้ตัวเก็บประจุค่าหลายๆ มาเป็นวงจรกรองกระแส ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่ามากการคายประจุก็ต้องใช้เวลานานขึ้น จึงทำให้ไฟกระแสตรงที่ออกมาเรียบที่สุด



(ก)

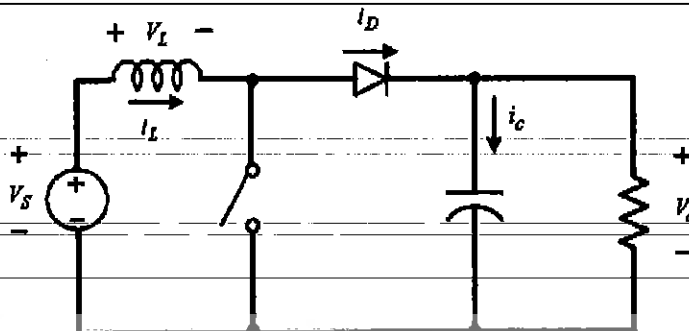


(ข)

รูปที่ 2.16 แสดงค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

## 2.2 วงจรทบทระดับแรงดัน

วงจรทบทระดับแรงดัน คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรทบทระดับแรงดัน

### 2.2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน

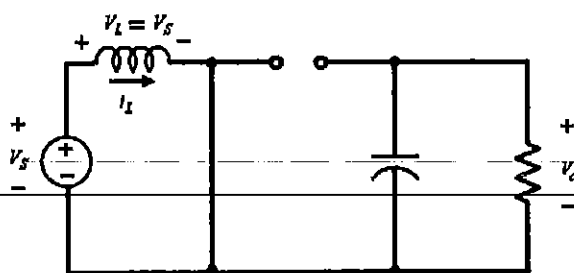
การวิเคราะห์การทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในคาบเวลา จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

### 2.2.2 หลักการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดัน

หลักการทำงานของวงจรทบทระดับแรงดันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมบ ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัวดังนี้

(ก) ขณะสวิตช์นำกระแส กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.3)$$

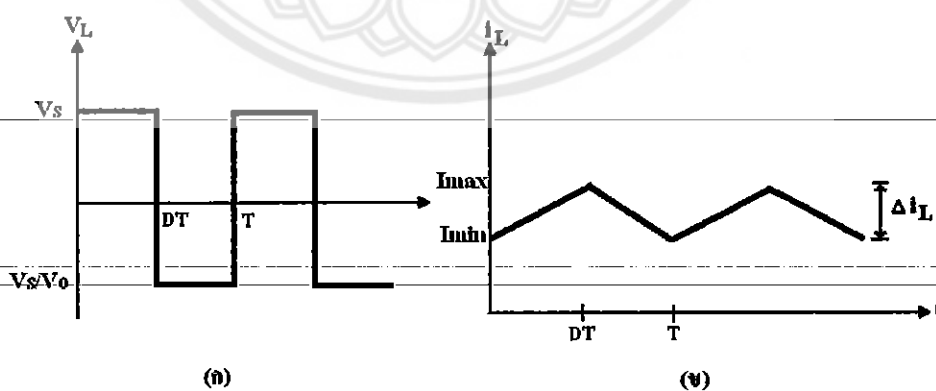
$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.4)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $d_t = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในชั่วหนี้ยาวนำขณะสวิตช์นำกระแสได้เป็น

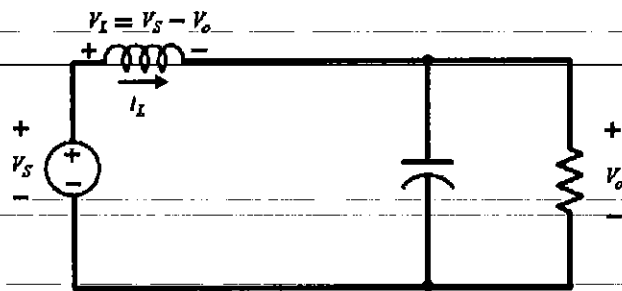
$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.5)$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.19 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

## (ข) ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ดังรูปที่ 2.20 กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ใดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้าให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมุติแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.7)$$

$$v_L = V_s - V_o$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.8)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส  $dt = (1-D)T$  อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta i_{L,off} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (1-D)T \quad (2.9)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการที่ (2.6) และ (2.9) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.10)$$

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2.11)$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$V_s - V_o(1 - D) = 0$$

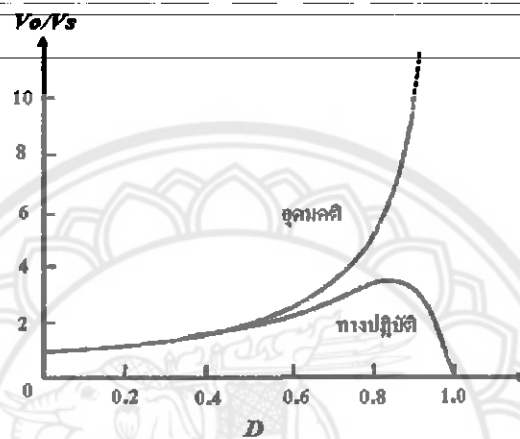
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (2.12)$$

จากการหาความสัมพันธ์ ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่เรียกว่า “อัตราขยายแรงดัน” ยังสามารถหาได้จากการใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ 2.10 ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้จากการปรับค่า D ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราขยายแรงดันของวงจรทบระดับแรงดันเมื่อมีการปรับค่า D

Duty ratio (D)	อัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) ( $V_o/V_s$ )
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5
0.9	10
1.0	Infinity

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.21 เมื่อค่า  $D$  เพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำสุดคือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์

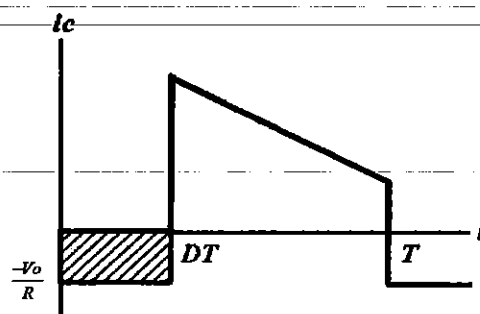


รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับ  $D$

### 2.2.3 ค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถรักษาให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกคงที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่มากๆ ได้เนื่องจากมีราคาแพงและใช้พื้นที่มาก จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม และค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การคำนวณหาค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากยอดถึงยอด สามารถหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

$$|\Delta Q| = C\Delta V_0 = I_0\Delta t_{ON} \quad (2.13)$$

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

$$\Delta t_{ON} = DT$$

$$\Delta V_0 = \frac{I_0\Delta t_{ON}}{C} = \frac{V_0DT}{RC}$$

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{DT}{RC} \quad (2.14)$$

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{D}{RCf} \quad (2.15)$$

เมื่อต้องการจะลดอัตราระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก จะทำได้โดยการลดค่า D ให้เข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหลด หรือเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุหรือเพิ่มค่าความถี่ในการสวิตซ์ให้สูงขึ้น

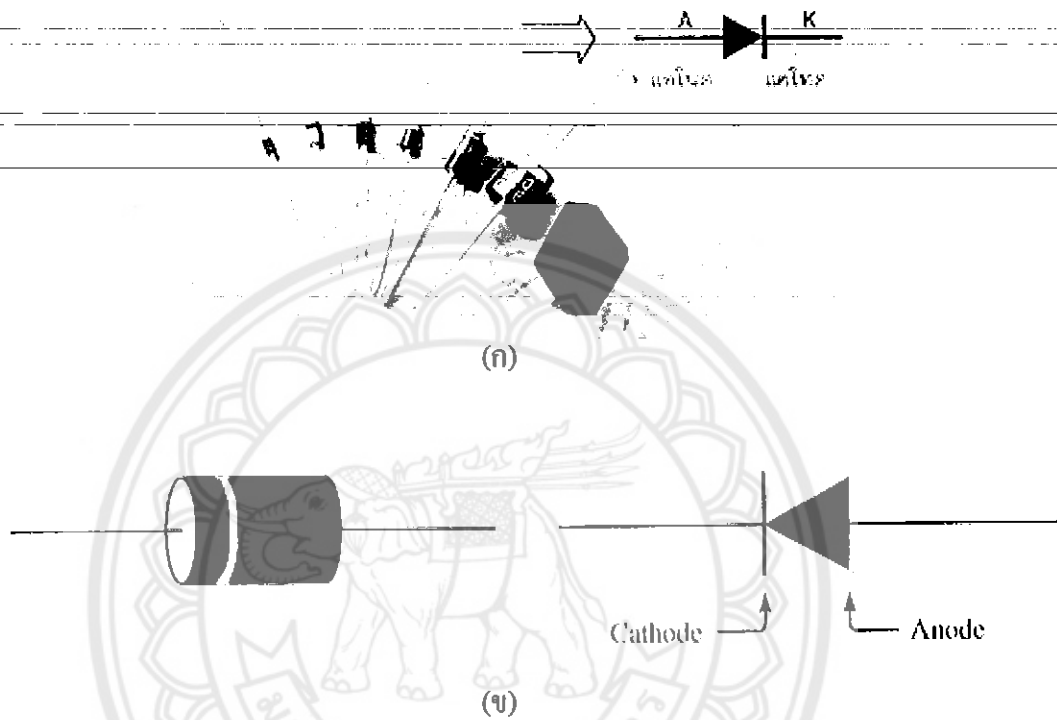
### 2.3 ไดโอดกำลัง (Power Diode)

ไดโอดกำลังเป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ง่ายที่สุด เป็นไดโอดที่ออกแบบให้บริเวณรอยต่อมีช่วงกว้างมากกว่าไดโอดทั่วไป เพื่อนำไปใช้กับงานที่มีกำลังและกระแสไฟฟ้าสูงๆ เมื่อไดโอดถูกไบอัสไปตรง (Forward biased) ไดโอดจะนำกระแสโดยมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเล็กน้อยระดับหนึ่งโวลต์ และเมื่อไดโอดถูกไบอัสย้อนกลับ (Reverse biased) จะมีกระแสไฟฟ้าวัดขนาดน้อยมากจนอาจถือว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวไดโอดจนกระทั่งถึงจุดแรงดันไฟฟ้าเบรคดาวนย้อนกลับ (Reverse breakdown voltage) ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องออกแบบให้ไดโอดกำลังไม่ทำงานจนถึงจุดแรงดันไฟฟ้าเบรคดาวนย้อนกลับเพื่อความปลอดภัย ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว มีชื่อเรียกว่า แอนโอด และแคโทด โดยมีสัญลักษณ์แสดงในรูปที่ 2.23

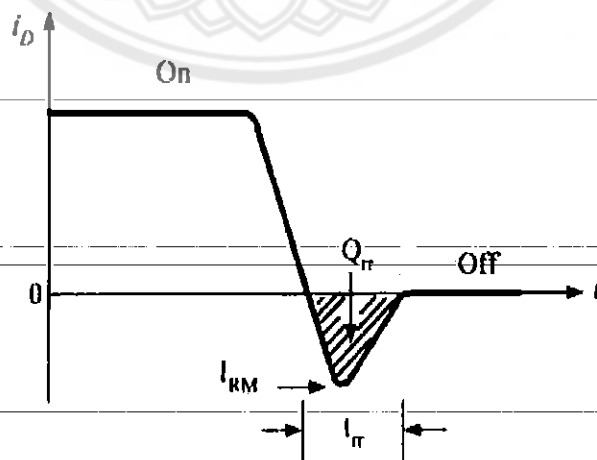
เมื่อไดโอดเริ่มนำกระแส อาจพิจารณาได้ว่าเป็นการสวิตซ์ซึ่งในอุดมคติ เพราะในช่วงเวลานำกระแส (Turn-on time) จะเร็วมากเมื่อเทียบกับช่วงเวลาภาวะชั่วคราว (Transient) ในวงจรกำลัง แต่ในช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (Turn-off time) จะมีกระแสไดโอดย้อนกลับ ในช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับ (Reverse recovery time) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ก่อนที่จะกลับสู่ศูนย์โดยกระแสฟื้นตัวย้อนกลับ (ค่าเป็นลบ) จะกวาดล้างประจุในไดโอดให้หมดไป และเพื่อป้องกันแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับได้ กระแสฟื้นตัวย้อนกลับจะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (Overvoltage) ในวงจรที่มีความเป็นตัวเหนี่ยวนำ วงจรส่วนใหญ่ค่ากระแสฟื้นตัวย้อนกลับจะไม่ค่อยมีผลต่อคุณลักษณะด้าน



เข้าและด้านออกของตัวแปลงกำลัง ดังนั้นไดโอดจะถูกพิจารณาเสมือนเป็นอุคมคติในช่วงขณะไม่นำกระแส และถ้าหากจะแบ่งชนิดของไดโอดออกตามความต้องการในการประยุกต์ใช้งาน จะแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มด้วยกัน คือ



รูปที่ 2.23 (ก) รูปทั่วไปของไดโอดกำลัง (ข) รูปลักษณะและสัญลักษณ์ของไดโอด



รูปที่ 2.24 ไดโอดขณะหยุดนำกระแส

1. แบบใช้งานทั่วไป (Standard Diodes) ไดโอดแบบใช้งานทั่วไป แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภท คือแบบดิสก์ (Disk Type) และแบบมีส่วนยื่นหรือแบบสตั๊ด (Stud Type)
2. ไดโอดแบบฟื้นตัวเร็ว (Fast Recovery Diodes) ไดโอดแบบฟื้นตัวเร็ว มีช่วงเวลาในการฟื้นตัวย้อนกลับระหว่าง 0.1 ถึง 5 นิสโตวินาที ใช้มากในการเปิด-ปิดสะพานไฟหรือในการสวิตช์ความถี่สูงของการแปลงผันกำลังไฟฟ้า
3. ไดโอดแบบชอททกี้ (Schottky Diodes) เป็นไดโอดที่มีแรงดันในการเปิด (On-state Voltage) ต่ำและเวลาในการฟื้นตัวย้อนกลับต่ำมาก ส่วนใหญ่ใช้เวลาเป็นนาโนวินาที

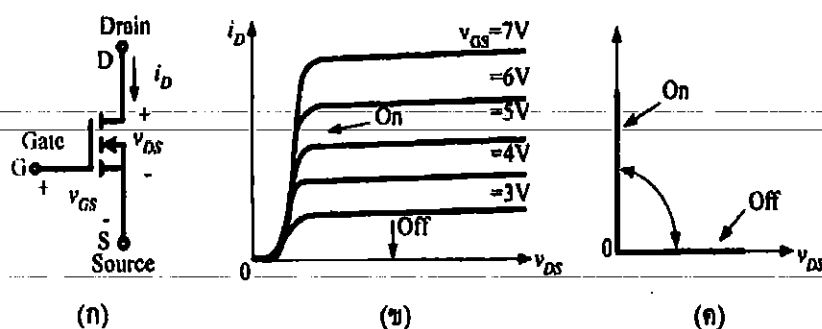
## 2.4 มอสเฟตกำลัง (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)

มอสเฟตกำลัง ที่ใช้ในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กรณีมอสเฟตชนิดเอ็นชานเนล (N-channel) ในรูปที่ 2.25 (ก) - (ค) โดยจะแสดงถึงสัญลักษณ์ของมอสเฟตกำลัง คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะสถานะอยู่ตัวและคุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติตามลำดับ

เมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกตกับขาซอส อย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาการสวิตช์ซิงของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาทีถึงหลักร้อยนาโนวินาทีซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดของมอสเฟตกำลัง

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอส จะขึ้นอยู่กับพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า หากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction losses)

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสของมอสเฟตกำลัง จะมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก คือเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นความต้านทานก็จะมากขึ้น มอสเฟตกำลังจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้ง่ายหากต้องการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตกำลังจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกันมากที่สุดจึงจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้

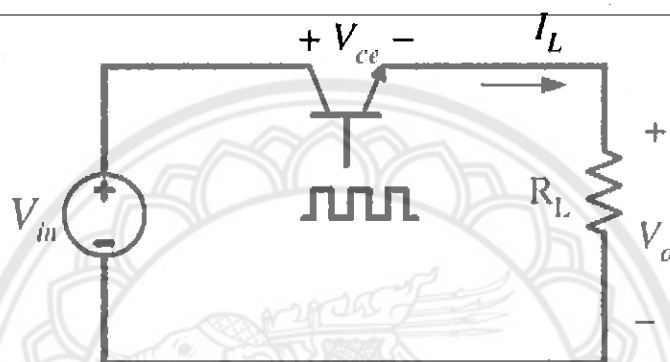


รูปที่ 2.25 มอสเฟตกำลัง (ก) สัญลักษณ์ (ข) คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า  
(ค) คุณลักษณะในอุดมคติ

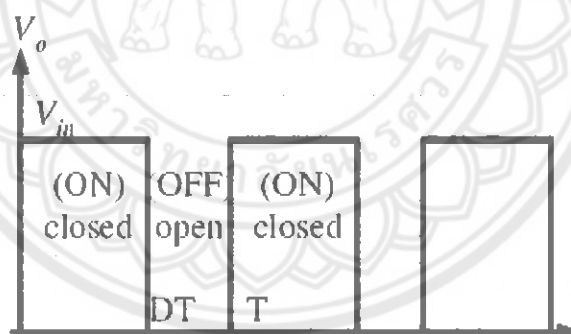
ในปัจจุบันมอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1000 โวลต์ แต่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าได้ไม่เกิน 100 แอมแปร์ แต่จุดเด่นที่สุดของมอสเฟตกำลังคือการมีความถี่ของการสวิทช์มีค่ามากถึงหลักหลายร้อยกิโลเฮิรตซ์

## 2.5 วงจรควบคุมสวิทช์ซิ่ง (Switching Regulator)

วงจรควบคุมสวิทช์ซิ่งดังรูปที่ 2.26 เป็นวงจรที่ใช้สำหรับควบคุมแรงดันเอาต์พุต เพื่อให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณแบบพัลส์ (Pulse) ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.26 วงจรควบคุมสวิทช์ซิ่ง



รูปที่ 2.27 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต

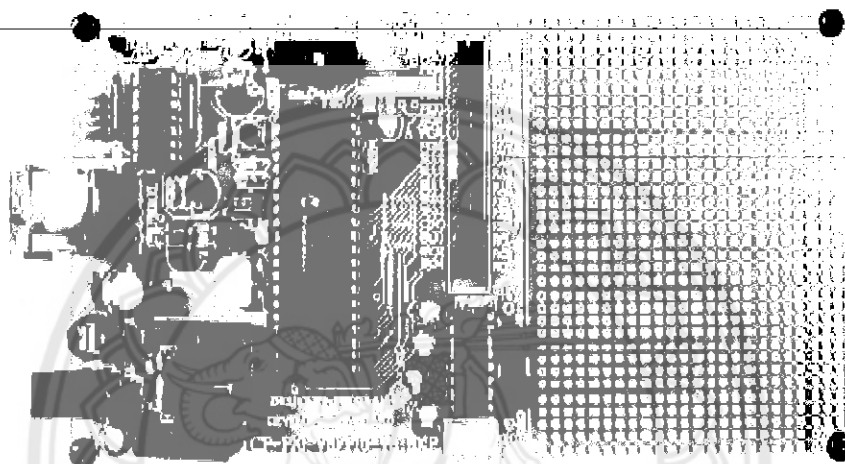
## 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนารวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุต และเอาต์พุต บางส่วนเข้าไปในไอซี

ตัวเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม และวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้งานคือ MCS51, PIC และ AVR เป็นต้น

ในการทำโครงงานครั้งนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC16F877 ชนิด EEPROM/FLASH ดังแสดงในรูปที่ 2.28 มาใช้งาน



รูปที่ 2.28 ลักษณะของบอร์ด CP-PIC V3.0

CP-PIC V3.0 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งออกแบบวงจรเฉพาะส่วนพื้นฐานที่จำเป็น เช่น แหล่งจ่ายไฟ วงจรรีเซ็ต วงจรกำเนิดความถี่สัญญาณนาฬิกา วงจรสำหรับคาน์โทลด์ โปรแกรม และวงจรสื่อสารอนุกรม ส่วนวงจร I/O ภายนอกนั้น จะไม่ได้จัดเตรียมไว้ให้ด้วย แต่จะทำการต่อสัญญาณ I/O ต่างๆจาก CPU มาไว้ยังขั้วต่อ (Connector) สำหรับให้ผู้นำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ I/O ภายนอกได้โดยง่าย และยังมีพื้นที่เอนกประสงค์สำหรับให้ผู้ใช้ออกแบบวงจร I/O และต่อวงจร I/O เพิ่มเติมได้เอง เหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการนำบอร์ดไปใช้พัฒนางานต้นแบบโดยการสร้าง I/O ต่างๆขึ้นมาใช้งานเอง ซึ่งในบอร์ดจะประกอบด้วย

- RS – 232 1 แชนเนล
- ETT CON 34PIN (ET BUS I/O 34PIN)
- 5 Volt Regulator On Board
- วงจร โปรแกรมแบบแรงดันสูงภายในบอร์ด

15001468

### 2.6.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

- CPU เป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งาน 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด

- ความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz	2/8.
- หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด	6671๓
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์ 368 ไบต์	25๕1
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีพีรอม 256 ไบต์	๘12

- มีสแต็ก 8 ระดับ

- มีวงจรพาวเวอร์ออนรีเซต (POR)
- มีเพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทมเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ดีด็อกไทมเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถ

#### ระดับการป้องกันได้

- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 V ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger)

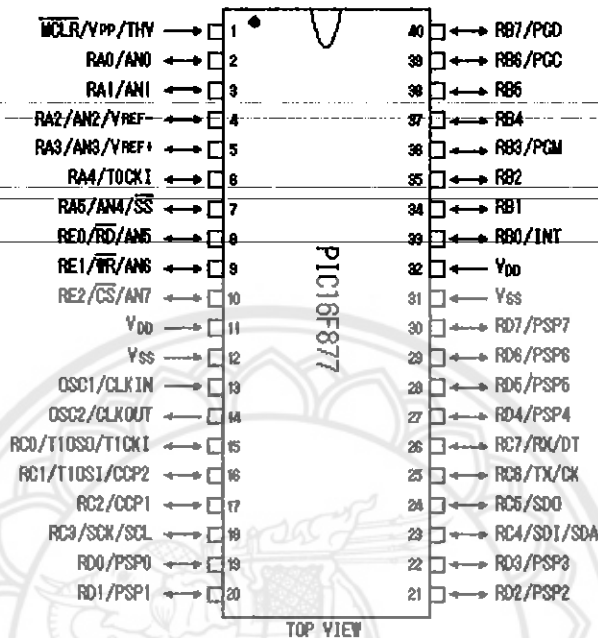
#### ผ่านทางพอร์ตเพียง 2 ขา

- CPU สามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5 V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25 mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลดน้อยกว่า 2 mA ที่ไฟเลี้ยง +5 V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz, 20  $\mu$ A ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz, น้อยกว่า 1  $\mu$ A ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 10 Bit
- มีวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และ บัส I<sup>2</sup>C
- มีวงสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเทกชัน: Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือเรียกว่าบราวเอาต์รีเซต (Brown-out reset: BOR)

- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดยส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต

- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว, ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์ และไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์, โปสต์สเกลเลอร์ และ รีจิสเตอร์คาบเวลา (Period register) ขนาด 8 บิต



รูปที่ 2.29 ชื่อและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F977

ตารางที่ 2.2 ชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดของขา และรายละเอียดการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
OSC1/CLKIN	13	อินพุต	- ขาค่อกคริสตอล / รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
OSC2/CLKOUT	14	เอาต์พุต	- ขาค่อกคริสตอล / ในโหมด RC เป็นขาเอาต์พุต สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1/4 ของสัญญาณที่ขา OSC1
MCLR/Vpp	1	อินพุต	- ขารับสัญญาณรีเซ็ตหลักทำงานที่ลอจิก "0" - ขารับแรงดัน โปรแกรม
RA0/AN0	2	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA0 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 0

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดของขา และรายละเอียดการทำงานของ  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RA1/AN1	3	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA1 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 1
RA2/AN2/VREF	4	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA2 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 2 - อินพุตแรงดันอ้างอิงลบของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล
RA3/AN3/VREF +	5	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA3 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 3 - อินพุตแรงดันอ้างอิงบวกของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล
RA4/T0CKI	6	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA4 - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 0
RA5/AN4/SS	7	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RA5 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 4 - ขาสัญญาณ Slave Select ใช้ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส
RB0/INT	33	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB0 - อินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก
RB1	34	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB1
RB2	35	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB2
RB3/PGM	36	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB3 - อินพุตรับแรงดันโปรแกรมตัด้าเอ็นเอเบิลไว้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดของขา และรายละเอียดการทำงานของ  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RB4	37	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB4
RB5	38	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB5
RB6/PGC	39	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB6 - ขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร
RB7/PGD	40	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB7 - ขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร
RC0/T1OSO/ T1CKI	15	อินพุต/เอาต์พุต	- ขาพอร์ต RB7 - เอาต์พุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทมเมอร์1 - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 1
RC1/T1OSI/ CCP2	16	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC1 -อินพุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทมเมอร์1 -อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจร เปรียบเทียบ/เอาต์พุต PWM สำหรับ CCP2
RC2/CCP1	17	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC2 -อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจร เปรียบเทียบ/เอาต์พุต PWM สำหรับ CCP1
RC3/SCK/SCL	18	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC3 -ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจร SPI และ ระบบบัส I <sup>2</sup> C
RC4/SDI/SDA	23	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC4 -ขาข้อมูลอินพุตวงจร SPI -ขาข้อมูลอนุกรมของระบบบัส I <sup>2</sup> C
RC5/SDO	24	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC5 -ขาข้อมูลเอาต์พุตวงจร SPI
RC6/TX/CK	25	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC6 -ขาเอาต์พุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อ พอร์ตอนุกรม



ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดของขา และรายละเอียดการทำงานของ  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RC7/RX/DT	26	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RC7 -ขาอินพุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อ พอร์ตอนุกรม
RD0/PSP0	19	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD0 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 0
RD1/PSP1	20	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD1 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	21	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD2 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	22	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD3 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	27	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD4 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	28	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD5 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	29	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD6 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	30	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RD7 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7
RE0/RD/AN5	8	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RE0 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็น ดิจิตอลช่อง 5 -ขาสัญญาณ RD ส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
RE1/WR/AN6	9	อินพุต/เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RE1 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็น ดิจิตอลช่อง 6 -ขาสัญญาณ WR ส่วนขยายพอร์ตแบบ ขนาน

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ชื่อขา ตำแหน่งขา ชนิดของขา และรายละเอียดการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

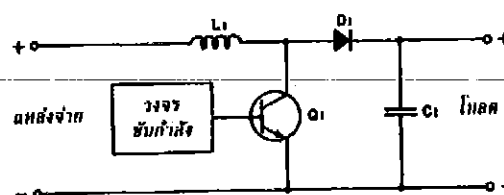
ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	รายละเอียดการทำงาน
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7	10	อินพุต/ เอาต์พุต	-ขาพอร์ต RE2 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่อง 7 -ขาสัญญาณ CSn ส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
V <sub>DD</sub>	11,32	อินพุต	-ขาต่อไฟเลี้ยง ใช้ได้ตั้งแต่ +2 ถึง +5.5V
V <sub>SS</sub>	12,31	อินพุต	-ขาต่อกราวด์

## 2.62 การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนนี้ได้ทำการเขียนด้วยภาษาซี ซึ่งอาจจะเขียนร่วมกับภาษาแอสเซมบลี (Assembly) สำหรับภาษาแอสเซมบลี (Assembly) และคอมไพเลอร์ โดยตัวคอมไพเลอร์สำหรับภาษาสูง จากนั้นก็ทำการลิงค์เข้าด้วยกันด้วยลิงค์เคอร์ ซึ่งขณะทำการลิงค์ก็จะมีกรรมรวมเอาสมุดบันทึกที่ถูกเรียกใช้ในโปรแกรมเข้าไปด้วยกัน สุดท้ายจะอยู่ในรูปไฟล์ .Hex หลังจากได้ไฟล์ .Hex แล้วจะทำการอัดโปรแกรมเข้าสู่ชิพด้วยตัวโปรแกรมเมอร์ส่วนใหญ่จะมีรูปแบบคือ มีซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการควบคุมการอ่าน เขียนหรือ ลบ โดยส่วนใหญ่จะเชื่อมต่อไปยังโปรแกรมเมอร์ด้วยพอร์ตอนุกรม หรือพอร์ตนาน เมื่ออัดโปรแกรมเข้าชิพแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถนำไปใช้งานตามที่ได้ออกแบบไว้

## 2.7 วงจรขอปเปอร์

สำหรับขอปเปอร์ในการเพิ่มแรงดัน วงจรขอปเปอร์สามารถใช้ในการกำเนิดแรงดันไฟตรงออกเอาต์พุตสูงกว่าแหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนเข้ามาได้ วงจรขอปเปอร์ในการเพิ่มแรงดันแสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 วงจรขอปเปอร์แบบเพิ่มแรงดัน

จากรูปที่ 2.31 เป็นวงจรขอปเปอร์แบบเพิ่มแรงดัน การทำงานเมื่อจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายเข้ามา ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  จะนำกระแส เมื่อมีกระแสไหลผ่าน  $L_1$  ทำให้  $L_1$  เกิดสนามแม่เหล็กฟองตัวออกเมื่อทรานซิสเตอร์  $Q_1$  หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กใน  $L_1$  ขูดตัวลงตัดผ่านตัวมันเองเกิดเป็นแรงเคลื่อนชักนำขึ้นมา มีศักย์ตกคร่อม  $L_1$  ขวาววกซ้ายลบ เสริมกับแรงดันจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่าน  $D_1$  ไปประจุที่  $C_1$  มีศักย์ตกคร่อมมากกว่าแหล่งจ่ายแรงดันที่ป้อนเข้ามาวงจรจะเสมือนเป็นหม้อแปลงชนิดเพิ่มแรงดัน วงจรนี้จะเหมาะสมสำหรับการเพิ่มกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟตรง เพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพการหยุดหมุนของมอเตอร์ไฟตรง

## 2.8 เนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์มีโปรตีนอยู่ประมาณ 14-26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีคุณภาพดีพอๆกับนมและไข่ ในเนื้อสัตว์จะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ทุกคนควรได้รับโปรตีนวันละ 1 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในเนื้อสัตว์มีไขมันด้วย แต่จะมีมากหรือน้อยนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อสัตว์ อายุ และอาหารของสัตว์ ในเนื้อปลาส่วนใหญ่จะมีไขมันน้อย เนื้อสัตว์ส่วนใหญ่จะแทบไม่มีคาร์โบไฮเดรตเลย ยกเว้นในตับซึ่งจะมีเพียงเล็กน้อย และอยู่ในรูปของไกลโคเจน เนื้อสัตว์มีฟอสฟอรัสและเหล็กมาก ไม่มีวิตามินเอ

### 2.8.1 ส่วนประกอบของเนื้อสัตว์

- กล้ามเนื้อ เนื้อสัตว์ส่วนใหญ่จะเป็นกล้ามเนื้อลายที่ใช้ในการเคลื่อนไหวตามที่จิตใจบังคับ ส่วนหัวใจ ตับ ลำไส้ และกระเพาะเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ กล้ามเนื้อประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อหลายเซลล์รวมกันเป็นมัด แต่ละเซลล์จะมีรูปร่างเรียวยาว มีนิวเคลียสหลายอัน มีขนาดแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของสัตว์ เซลล์กล้ามเนื้อของวัวยาวกว่าของแกะ เนื้อสัตว์มีการเจริญเติบโต เซลล์ในสัตว์จะเพิ่มขนาดขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มปริมาณเซลล์ รอบเซลล์จะมีเยื่อบางๆหุ้มอยู่ เรียกว่า ซาร์โคเลมมา เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้ว จะเห็นว่าในเซลล์กล้ามเนื้อ มีเส้นเล็กๆขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ไมครอนยาวตลอดเซลล์ มีชื่อเรียกว่า ไฟบริล ส่วนที่หนาจะเป็นสีแก่ ส่วนที่บางเป็นสีอ่อน จึงเห็นเนื้อเยื่อเป็นลายๆ ในไฟบริลมีโปรตีน 2 ชนิดคือ แอคติน และไมโอ

- เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน มีส่วนช่วยในการยึดกล้ามเนื้อให้ติดกัน ส่วนที่อยู่ล้อมรอบเซลล์กล้ามเนื้อแต่ละกล้ามเนื้อ เรียกว่า เอนโดไมเซียม เซลล์กล้ามเนื้อหลายอันรวมกันเป็น 1 มัด มีพังคืดชื่อ เพอริไมเซียม ล้อมรอบ พังคืดส่วนนอกสุดเป็นแผ่นใหญ่หุ้มกล้ามเนื้อไว้ทั้งส่วน เช่น ส่วนขา เรียกว่า อีพีไมเซียม กล้ามเนื้อเหล่านี้มีเอ็นยึดให้ติดกระดูกอีกทีหนึ่ง เนื้อเยื่อเกี่ยวพันประกอบด้วยของเหลว เรียกว่า ground substances ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอนว่านอกจากน้ำแล้วยังมีอะไรอีกบ้าง และเส้นใยเหนียวๆชนิดคอลลาเจน และอีลาสติน เนื้อสัตว์ส่วนใหญ่จะมีเส้นใยชนิดคอลลาเจน

มากกว่าอีลาสติน เส้นใยคอลลาเจนจะมีสีขาว ประกอบด้วยไฟบริลซึ่งวางเรียงกันเป็นตามยาว เหมือนกับไฟบริลของกล้ามเนื้อ มีความยืดหยุ่นไม่เท่าอีลาสติน เส้นเอ็นที่ยึดกล้ามเนื้อกับกระดูก ประกอบด้วยคอลลาเจนเป็นส่วนใหญ่ เส้นใยอีลาสตินมีสีเหลือง บางกว่าเส้นใยคอลลาเจนแต่มีความแข็งแรงกว่ามาก เส้นใยนี้เมื่อยืดออก ก็จะหดกลับที่เดิมทันที มีมากในเส้นเอ็น ซึ่งยึดกับกระดูกด้วยกันหรือกระดูกอ่อน เมื่อเราดัมเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนานๆ เส้นใยคอลลาเจนจะสลายไป และได้เจลาตินซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์มาแทน ส่วนอีลาสตินเมื่อถูกดัมแล้วก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

- เนื้อเยื่อไขมัน เมื่อสัตว์กินอาหารมากเกินไปเกินความต้องการ พลังงานที่เหลือจะถูกแปรสภาพกลายเป็นไขมัน และจะถูกสะสมอยู่ในร่างกาย ไขมันบางส่วนจะอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหรือเซลล์กล้ามเนื้อ บางส่วนก็อยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน โดยเฉพาะในช่วงแรกไขมันจะถูกสะสมอยู่รอบๆอวัยวะภายในและใต้ผิวหนัง ต่อมาจึงสะสมอยู่ระหว่างกล้ามเนื้อ จนเมื่อได้รับไขมันมากๆอีกก็จะแทรกเข้าสู่ภายในกล้ามเนื้อ การที่จะให้เกิดเรื่องดังกล่าว จำเป็นต้องอาศัยอาหารสัตว์มาก ในต่างประเทศถือว่า เนื้อที่มีไขมันแรกอยู่ในกล้ามเนื้อ จะเป็นเนื้อชั้นดี มีราคาแพง ரசชาติดี ดังนั้นในประเทศที่ผลิตเนื้อสัตว์ขายเป็นอุตสาหกรรมจึงค้นคว้าหาวิธีที่ทำให้ไขมันแรกอยู่ในกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วกันอย่างกว้างขวาง ปริมาณไขมันในเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งอวัยวะของสัตว์ ชนิดของสัตว์ เช่น ไก่แก่มีไขมันมากกว่าไก่อ่อน เนื้อน่องมีไขมันน้อย ฯลฯ มันหมูจะมีสีขาว มันวัวจะมีสีเหลือง ซึ่งมาจากแคโรทีนในอาหาร ยิ่งสัตว์กินแคโรทีนสูง เนื้อก็จะยิ่งเหลือง ไขมันที่ปนมากับเนื้อสัตว์มีทั้งชนิดอ่อนและชนิดแข็งมันของแพะและวัวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูง ไขมันที่รอบไตหมูแข็งกว่าส่วนที่อยู่ใต้ผิวหนัง หมูที่เลี้ยงด้วยถั่วเหลืองมีไขมันอ่อนนุ่มกว่าหมูที่เลี้ยงด้วยอาหารอย่างอื่น

### 2.8.2 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัตว์ภายหลังการถูกฆ่า

เนื้อสัตว์ภายหลังการถูกฆ่าจะมีการเปลี่ยนแปลงมากมาย บางครั้งอาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมี บางครั้งก็อาจเกิดปฏิกิริยาทางกายภาพ ซึ่งทำให้องค์ประกอบของสัตว์เปลี่ยนแปลง กล้ามเนื้อของสัตว์ขณะที่มีชีวิตจะนุ่ม ยืดหยุ่นได้ แต่เมื่อสัตว์ตายแล้ว กล้ามเนื้อจะเกร็ง แข็งและเหนียว เรียกว่า ริกอรัมอร์ติส ต่อจากนั้นไม่นาน เนื้อสัตว์จะกลับมาอ่อนนุ่มอีก ในขณะเดียวกันถ้ามีเอนไซม์มาทำปฏิกิริยา ทิ้งนานไว้นาน จุลินทรีย์จะเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเมือกขึ้นที่ผิวหนัง ในเวลาต่อมาไม่นานก็จะมีกลิ่นเหม็นเน่า อาการเกร็งของกล้ามเนื้อเกิดจากการหายไปของ ATP จากกล้ามเนื้อ และโปรตีนชนิดแอคซิน รวมทั้งไมโอซิน ได้แอคโตโมโอซิน ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อหดตัวจนหยิกงอ ต่อมาเส้นใยกล้ามเนื้อจะคลายออกเป็นเส้นตรง เพราะบางส่วนถูกเอนไซม์ย่อย ทำให้เส้นใยขาดเป็นช่วงๆ เนื้อจึงนุ่มขึ้น อาการเกร็งของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับสัตว์ที่ตื่นมาก่อนถูกฆ่า และกับสัตว์ที่มีอายุน้อย

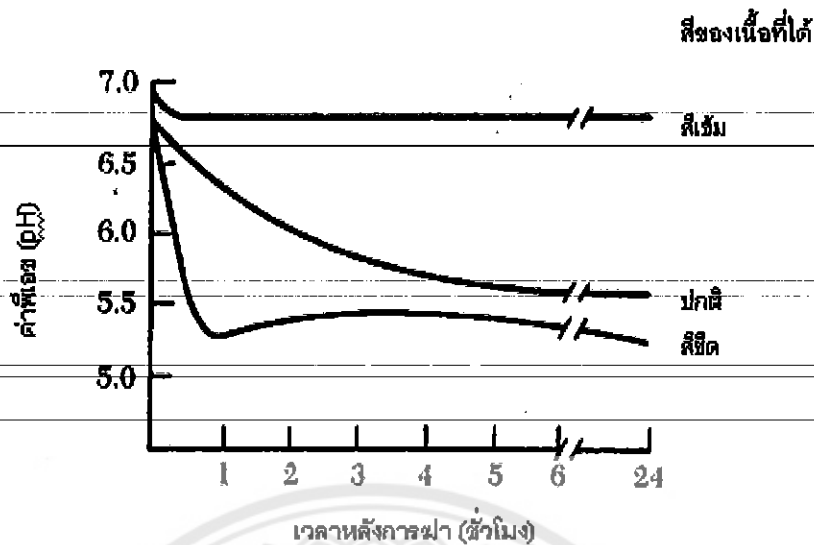
### 2.8.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ภายหลังการแทงคอ กล้ามเนื้อจะทำงานภายใต้สภาวะไม่มีอากาศจึงทำให้ไพรูเวตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ไกลโคไลซิสถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติก ซึ่งต่อมาอาจแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่ออื่น และถูกนำไปโดยระบบ หมุนเวียนโลหิตเพื่อสร้างเป็น ไกลโคเจน โดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ไกลโคเจนจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดแลคติก ปริมาณกรด แลคติกที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับสภาวะร่างกาย การอดอาหาร การพักผ่อนและความเครียด ของสัตว์ก่อนที่จะถูกฆ่า ปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในกล้ามเนื้อซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 กรณี คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงปกติ ลดลงเล็กน้อยและลดลงมาก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพ ของเนื้อที่จะกล่าวในบทต่อไป

- ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงปกติ หลังจากสัตว์ตาย กล้ามเนื้อจะทำงานแบบไม่ใช้อากาศ ทำให้เกิดการสร้างกรดแลคติกขึ้นกรดเหล่านี้จะถูก สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจึงทำให้ กล้ามเนื้อมีความเป็นกรดมากขึ้น เป็นผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อลดลงช้าๆ จากค่าเดิมประมาณ 7.0 ไปเป็นประมาณ 5.6-5.7 ภายในเวลา 6-8 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย และลดลงสู่จุดสุดท้ายในช่วง 5.3- 5.7 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง (ดังรูปที่ 2.31)

- ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเล็กน้อย หลังการตายในสัตว์บางตัวค่าความเป็นกรด-ด่าง อาจลดลงเพียงเล็กน้อย กล้ามเนื้อจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-6.8 ในเวลา 24 ชั่วโมงหลัง สัตว์ตาย

- ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงมาก ในสัตว์บางตัวอาจมีค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วถึง 5.4- 5.5 ในเวลาเพียง 1 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย และอยู่ที่ระดับนี้ไปเรื่อยๆ โดยจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง สุดท้ายประมาณ 5.3-5.6 กล้ามเนื้อที่มีค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 1 ชั่วโมง หลังสัตว์ตายนั้น จะมีลักษณะสีซีด มีความสามารถในการจับน้ำได้ต่ำมากจึงทำให้มีน้ำซึมซึมออกมาบนผิวหนังเนื้อ ในกรณีที่ร้ายแรงจะถึงขั้นมีน้ำหยดออกมาจากผิวหนังของเนื้อ กล้ามเนื้อที่สามารถรักษา ค่าความเป็น กรด-ด่างสูงไว้ได้ จะทำให้ เนื้อที่มีสีค่อนข้างคล้ำและมีผิวหนังค่อนข้างแห้ง ลักษณะเหล่านี้มีผล โดยตรงต่อคุณภาพของเนื้อ



รูปที่ 2.31 แสดงการลดค่าของ pH หลังสัตว์ตาย  
ที่มา (ดัดแปลงจาก ชัยณรงค์ คันทพนิต, 2529, หน้า 85)

การสะสมกรดแลกติกเป็นจำนวนมากในช่วงแรกหลังสัตว์ตายนั้น จะสามารถส่งผลถึงคุณภาพของเนื้อได้ เนื่องจากการมีกรดแลกติกมากขึ้นจะทำให้สภาวะของเนื้อมีความเป็นกรดสูง ขณะที่อุณหภูมิของซากสูงขึ้น จะทำให้โปรตีนของกล้ามเนื้อเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติไป โปรตีนจะสูญเสียความสามารถในการละลาย (Solubility) สูญเสียความสามารถในการจับน้ำและสูญเสียความแข็งของรงควัตถุที่เป็นตัวกำหนดสีของเนื้อจึงทำให้เนื้อมีสี ที่ไม่ต้องการได้การเสียสภาพทางธรรมชาติของเนื้อนั้นขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิและระดับ การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่อุณหภูมิจะมีผลต่อการเสียสภาพทางธรรมชาติมากกว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าในการแช่เย็นซากนั้นแม้ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดต่ำลง มากถึง 5.2-5.4 แต่ก็เกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติต่ำกว่าการเก็บที่อุณหภูมิสูง

#### 2.8.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกล้ามเนื้อ

1. สีของเนื้อสัตว์ ในกล้ามเนื้อของสัตว์ที่ตายแล้วนั้น ออกซิเจนจะหมดไปทำให้กล้ามเนื้อ มีสีแดงคล้ำหรือออกม่วง เมื่อตัดเนื้อจะทำให้เนื้อได้สัมผัสกับออกซิเจนจากบรรยากาศรอบๆ ทำให้สีจืดจางๆ เปลี่ยนกลับเป็นสีแดงสดอีกครั้ง แต่ในกล้ามเนื้อที่ผ่านการเสียสภาพทางธรรมชาติอย่างหนักเนื้อที่ได้จะมีสีซีดมาก

เมื่อดูสีที่ให้สีแดงแก่เนื้อสัตว์ คือ ฮีโมโกลบิน และ ไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบินยังคงเหลือติดอยู่บ้างเล็กน้อยในเส้นเลือดฝอยหรืออวัยวะที่มีเลือดหล่อเลี้ยงมากๆ ฮีโมโกลบินจะพาออกซิเจนไป

ตามเส้นเลือดเพื่อส่งให้อวัยวะต่างๆ ไมโอโกลบินรับออกซิเจนจากฮีโมโกลบินไว้ใช้ในการหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อ เนื้อสัตว์มีสีเข้มมากน้อย ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- (1) ชนิดของสัตว์ เช่น เนื้อวัวสีแดงสดกว่าเนื้อหมูและเนื้อแกะ
- (2) อายุของสัตว์ เช่น เนื้อของสัตว์ที่มีอายุมากจะมีสีแดงเข้มมากกว่าเนื้อของสัตว์ที่มีอายุน้อย
- (3) การออกกำลังกายของสัตว์ เช่น อวัยวะส่วนที่ออกกำลังกายมาก จะมีสีเข้มมากกว่าส่วนที่ออกกำลังกายน้อย
- (4) อาหารของสัตว์

(5) ปริมาณออกซิเจนที่ได้รับ ไมโอโกลบินของสัตว์ที่ยังมีชีวิตอยู่มีสีม่วงแดง เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนได้สีแดงสดของออกซิไมโอโกลบิน เมื่อสัตว์ตาย ออกซิเจนจะหมดไปอย่างรวดเร็ว ไมโอโกลบินจะกลับเป็นสีม่วงแดง ถ้าเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน เนื้อชั้นในก็คงยังมีสีม่วงแดงเพราะไม่ได้รับออกซิเจน เวลาตัดขาย ตามรอยตัดจะมีสีแดงสดเพียงชั่วขณะเพราะไมโอโกลบินรวมกับออกซิเจนในอากาศอีก คั้งนั้น เนื้อที่วางขายจึงมีสีแดงเฉพาะภายนอก และภายในเป็นสีม่วงแดง

สีที่เปลี่ยนไปแล้วก่อให้เกิดปัญหาในเนื้อสัตว์ คือ ไมโอโกลบินเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลแดงชื่อ เมทไมโอโกลบิน จะเกิดขึ้นเมื่อเหล็กในฮีมเปลี่ยนจาก ferrous เป็น ferric เนื่องจากเหล็กถูกเติมออกซิเจน การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงไม่ได้ทำให้รสชาติของเนื้อเสียไป แต่มองดูไม่น่ากินเท่านั้น สารที่ช่วยลดออกซิเจนสามารถเปลี่ยนให้เมทไมโอโกลบินกลับเป็นไมโอโกลบินได้ การเกิดเมทไมโอโกลบินจะเกิดได้รวดเร็วเมื่อมีแบคทีเรียเจือปน และในอุณหภูมิสูง สภาพที่ทำให้โปรตีนโกลบินเปลี่ยนลักษณะธรรมชาติ ก็เร่งปฏิกิริยาการเกิดเมทไมโอโกลบิน เช่น การแช่แข็งเกลือ แสงอุตราไวโอเลต และโลหะบางชนิด การเปลี่ยนสีเนื่องจากการเกิดการเกิดเมทไมโอโกลบินสามารถป้องกันได้โดยการเติมวิตามินซีลงไป หลังจากที่เนื้อสัตว์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงเพราะเกิดจากเมทไมโอโกลบินแล้ว ปฏิกิริยาของเอนไซม์และการกระทำของแบคทีเรียอาจทำให้ออกซิเจนเข้าไปในเนื้อสัตว์อีก ทำให้มีสารสีน้ำตาล เขียวหรือซีด เมื่อถึงขั้นนี้แล้ว รสและกลิ่นของเนื้อก็จะเปลี่ยนไป ไม่สามารถทำให้กลับคืนมาอีกได้ ในการหุงต้ม ตอนแรกเนื้อจะมีสีแดง (ซึ่งเป็นสีของออกซิฮีโมโกลบิน) ต่อมาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของออกซิฮีโมโกลบินลดลง เนื้อสัตว์จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (เป็นสีที่บ่งบอกว่าเนื้อสุกแล้ว) และเหล็กถูกเติมออกซิเจนเปลี่ยนจาก Ferrous เป็น Ferric ได้สารชื่อ Denatured globin hemichrome สารนี้เร่งการเกิดปฏิกิริยาการเหม็นหืนของไขมันในเนื้อสุก ด้วยเหตุนี้เนื้อสุกที่เก็บไว้ในตู้เย็นจึงมีกลิ่นหืนภายในเวลาอันสั้น

## 2. ความนุ่มของเนื้อสัตว์

- ชนิดและปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (พังผืด) เนื้อที่มีพังผืดมากจะเหนียวมาก ถ้ามีพังผืดน้อยก็จะไม่เหนียว เนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อสัตว์มี 2 ชนิด คือ คอลลาเจนสีขาว และอีลาสตินที่

มีสีเหลือง แม้ว่าเมื่อเนื้อยังดิบ อีลาสตินจะเหนียวน้อยกว่าคอลลาเจน แต่อีลาสตินไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อได้รับความร้อนในขณะที่คอลลาเจนสลายตัวให้เจลลาติน ดังนั้นเนื้อในส่วนที่มีอีลาสตินจึงเหนียวกว่าส่วนที่มีคอลลาเจน ชนิดและปริมาณของพังผืดสัตว์ต่างชนิด ต่างอายุ และต่างเพศ ย่อมแตกต่างกัน เนื้อวัวมีพังผืดมากกว่าเนื้อหมู เนื้อปลาส่วนใหญ่นุ่มเพราะมีพังผืดน้อยมาก เนื้อของสัตว์ที่มีอายุมากจะมีพังผืดมากกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื้อควายแก่จึงเหนียวกว่าควายหนุ่ม สัตว์ตัวผู้มีพังผืดมากกว่าตัวเมีย ยกเว้นไก่ตัวผู้ที่ตอนแล้ว สัตว์ที่ออกกำลังกายมากจะมีพังผืดมาก และมีอีลาสตินมากด้วย

- ลักษณะและตำแหน่งของกล้ามเนื้อ เนื้อสัตว์ส่วนที่มีเซลล์กล้ามเนื้อมากบีบคั้นแน่น แข็งแรงและหยาบกว่า ตั้งแต่เกิด จำนวนเซลล์กล้ามเนื้อไม่เปลี่ยนแปลง แต่ขนาดและความยาวของเซลล์จะมากขึ้น กล้ามเนื้อของสัตว์ที่มีอายุมากจะมีขนาดใหญ่กว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย เนื้อของสัตว์แก่จึงเหนียวกว่าสัตว์อ่อน เซลล์กล้ามเนื้อของสัตว์ตัวเมียมีขนาดเล็กและละเอียดกว่าสัตว์ตัวผู้ (ยกเว้นตัวผู้ที่ถูกตอนแล้ว) อวัยวะส่วนที่ออกแรงมากจะเหนียวกว่าส่วนที่ไม่ได้ออกแรง

3. ความแน่นเนื้อ ขณะสัตว์มีชีวิตอยู่นั้นกล้ามเนื้อจะมีลักษณะที่ค่อนข้างแน่นและสามารถงอรูปร่างที่แน่นอนได้ตลอดเวลา เมื่อสัตว์ตายกล้ามเนื้อที่เกิดการเกร็งตัวจะมีลักษณะแน่นและแข็งทื่อ เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการย่อยสลายตัวเอง และเกิดการเสียดสภาพธรรมชาติของโปรตีน จึงทำให้กล้ามเนื้อเริ่มอ่อนตัวลง ในกรณีที่เกิดการเสียดสภาพทางธรรมชาติของ โปรตีนอย่างรุนแรงมาก กล้ามเนื้อจะอ่อนลงตัวจนกลายเป็นเหลวเกินไปซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ

4. ความสามารถในการอุ้มน้ำ ในกล้ามเนื้อมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 65-80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกล้ามเนื้อทั้งหมด น้ำเหล่านี้จะถูกจับไว้ในเส้นใยกล้ามเนื้อโดยเกาะอยู่กับโปรตีน เมื่อโปรตีนเกิดการเสียดสภาพทางธรรมชาติจะทำให้โมเลกุลของน้ำเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาได้ดังนั้นเนื้อที่มีค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมงหลังฆ่า กล้ามเนื้อจะเกิดการเสียดสภาพตามธรรมชาติ จึงทำให้เนื้อมีความสามารถในการจับน้ำต่ำมาก และจะส่งผลให้มีน้ำไหลซึมออกจากกล้ามเนื้อในทางตรงกันข้าม ในเนื้อที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเพียงเล็กน้อย น้ำส่วนใหญ่จะถูกโปรตีนจับไว้ซึ่งถือว่ามีความสามารถในการจับน้ำสูงกว่าปกติ

การทราบการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ถูกฆ่าจะช่วยให้ปฏิบัติ กับเนื้อได้ถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้ได้เนื้อ ที่มีลักษณะทางเคมีและทางกายภาพที่ดี รวมถึงมีความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ด้วย หลังจากที่สัตว์ถูกฆ่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ ชีวเคมี จุลินทรีย์ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อที่ได้ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อสัตว์ภายหลังการฆ่าที่สำคัญได้แก่ การรักษาความสมดุลแห่งการมีชีวิต การหมุนเวียนโลหิตเข้าสู่กล้ามเนื้อหยุดชะงัก การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง การย่อยสลายตัวเองของกล้ามเนื้อ การ สูญเสียระบบการป้องกันจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกล้ามเนื้อการรักษาความสมดุลแห่งการมีชีวิต หมายถึง การรักษาความสมดุลภายใน ระบบของร่างกายเพื่อให้สามารถมีชีวิตอยู่ต่อไป



กล้ามเนื้อจะทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพมากภายใต้ความแปรปรวนในช่วงก่อนสัตว์ตาย การรักษาความสมดุลแห่งการมีชีวิตเป็นตัวละครสำคัญที่ทำให้สัตว์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาวะที่แปรปรวนต่าง ๆ ภายใต้สภาวะไม่มีอากาศหลังสัตว์ตายจะมีกรดแลคติกเกิดขึ้น จากการทำงานแบบไม่ใช้อากาศของกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อมีความเป็นกรดมากขึ้นเป็นผลให้ค่า pH ของกล้ามเนื้อ ลดต่ำลง เมื่อสัตว์ถูกแทงคอเอาเลือดออกสัตว์จะสูญเสียระบบหมุนเวียนโลหิต จึงเกิด การสะสมความร้อนภายในกล้ามเนื้อ และทำให้อุณหภูมิของกล้ามเนื้อสูงขึ้น ในช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเสียชีวิตทางธรรมชาติได้

การเกร็งตัวของกล้ามเนื้อเป็นผลมาจากการเกิดครอสมบริดจ์ระหว่างแอกทินกับไมโอซิน ในกล้ามเนื้อซึ่งเหมือนกับ การยึดหดตัวของกล้ามเนื้อในขณะที่สัตว์ยังมีชีวิต แต่เมื่อสัตว์ตายจะขาดพลังงานที่จะแยกเส้นใย แอกทิน กับ ไมโอซินออกจากกัน การเกร็งตัวหลังสัตว์ตายจึงเป็นการยึดหดตัวที่ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ ในช่วงที่สัตว์ตายแล้ว กลไกการรักษาสมดุลแห่งการมีชีวิตจะเริ่มหมดกิจกรรมไป เมื่อการรักษาสมดุล แห่งการมีชีวิตหมดลง จะเกิดการ เปลี่ยนแปลง ต่างๆ ได้แก่ การสูญเสียระบบป้องกันจุลินทรีย์ การสูญเสียโครงสร้าง การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลง ทางกาย ภาพของกล้ามเนื้อ การทราบการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อภายหลังสัตว์ถูกฆ่า จะช่วยให้ปฏิบัติกับเนื้อ ได้ถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้ได้เนื้อที่มีลักษณะทางกายภาพทางเคมีที่ดี รวมถึงความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ด้วย

5. **รสชาติของเนื้อสัตว์** ในกล้ามเนื้อสัตว์มีสารหลายอย่าง เช่น น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน เม็ดสี เกลืออินทรีย์และอนินทรีย์ น้ำเนื้อสัตว์ที่มีใน ไตรเจน ได้แก่ ครีเอติน และยูเรีย เป็นต้น น้ำเนื้อส่วนที่ไม่มีใน ไตรเจน ได้แก่ กรดแลคติก เป็นต้น สารเหล่านี้จะให้กลิ่นและรส แต่เดิมเข้าใจว่าน้ำเนื้อส่วนที่มีและไม่มีใน ไตรเจน โดยเฉพาะครีเอติน และกรีเอตินนิน เป็นสารที่ให้กลิ่นและรสที่สำคัญ แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้ค้นพบว่า สารพวกนี้มีรสและกลิ่นอ่อนมาก รสชาติของเนื้อมาจากส่วนที่เป็นน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นเนื้อ รสหวานและเค็มของเนื้อมาจากเลือด ดังนั้น ถ้าล้างเนื้อจนน้ำในเนื้อไหลออกไปหมด เนื้อสัตว์จะซิคไม่มีกลิ่นและรส การหุงต้มทำให้รสชาติดีขึ้นบ้าง เพราะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เส้นใยโปรตีนในเซลล์กล้ามเนื้อ นอกจากสารต่างๆคงที่กล่าวมาแล้ว รสชาติของเนื้อยังขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. ชนิดของสัตว์ สัตว์แต่ละชนิดจะมีกลิ่นเฉพาะตัว
2. เพศของสัตว์ สัตว์ตัวผู้มีรสชาติดีกว่าตัวเมีย ยกเว้นตัวผู้ที่ถูกตอน
3. เพศของสัตว์ สัตว์แก่มีรสชาติดีกว่าสัตว์อ่อน
4. การออกกำลังกาย เนื้อสัตว์ตรงส่วนที่มีการออกกำลังกายเสมอนั้น จะมีกลิ่นและรสชาติที่ดีมาก

5. ระยะเวลาที่เก็บ ระหว่างที่แขวนเนื้อสัตว์ไว้ในห้องเย็น เนื้อสัตว์จะมีรสชาติดีขึ้นเรื่อยๆ ยกเว้นเนื้อปลาที่ควรรับประทานทันทีหลังจากฆ่า แม้ว่าไขมันในเนื้อสัตว์อาจได้รับออกซิเจนทำให้มีกลิ่นเหม็นหืน ทำให้รสชาติของเนื้อสัตว์ด้อยลง
6. อาหารสัตว์ สัตว์ที่เลี้ยงด้วยธัญพืชธรรมชาติ จะมีรสชาติปานกลาง แต่ถ้าในอาหารสัตว์มีสารประกอบที่มีกำมะถัน เนื้อสัตว์ก็อาจมีกลิ่นของกำมะถันด้วย สัตว์ที่เลี้ยงด้วยปลาป่นจะมีรสชาติไม่ค่อยดี



### บทที่ 3

## การออกแบบวงจรและทดสอบวงจร

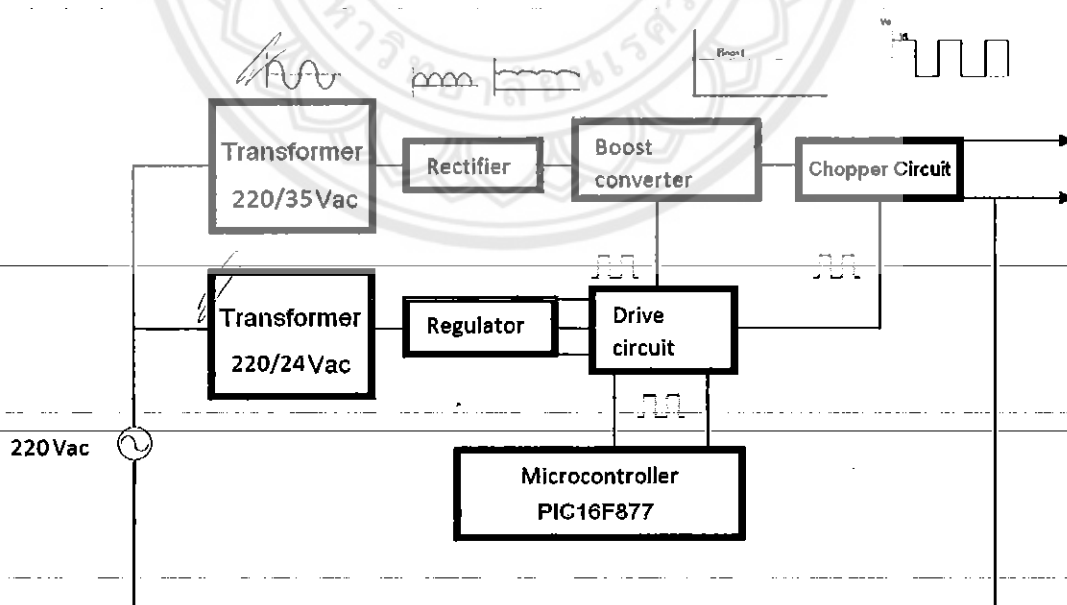
ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบวงจร การทดสอบวงจรและขั้นตอนการประกอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

### 3.1 การออกแบบวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า

ในการออกแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ได้ออกแบบให้เป็นการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำที่มีขนาดแรงดันไม่เกิน 100 โวลต์ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ และต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ทำโครงการ ซึ่งได้แบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. วงจรควบคุม การออกแบบวงจรควบคุมนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เป็นตัวควบคุมสัญญาณ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 นี้จะเป็นตัวควบคุมการปล่อยสัญญาณที่ปล่อยออกมาในรูปแบบคลื่นสี่เหลี่ยม จ่ายสัญญาณให้กับวงจรขับ (Drive Circuit) เพื่อไปขับมอเตอร์ของวงจรทบระดับแรงดัน และวงจรชอปเปอร์ซึ่งจะปล่อยสัญญาณครั้งละ 2 วินาที คือ ช่วง (ON Time) 2 วินาที และ ช่วง (OFF Time) 2 วินาที

2. วงจรกำลัง ในส่วนนี้จะประกอบด้วยหม้อแปลงที่ทำหน้าที่แปลงแรงดัน 220 โวลต์ เป็น 35 โวลต์ ส่งไปยังวงจรเรียงกระแส วงจรทบระดับแรงดัน และวงจรชอปเปอร์ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า

และเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคด้วยกระแสไฟฟ้า จะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
2. สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ ตั้งแต่แรงดัน 50 – 90 โวลต์
3. สามารถปรับค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ได้ตั้งแต่ 0.3 - 0.65
4. จ่ายกระแสได้ไม่เกิน 1 แอมแปร์ ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

### 3.2 ขั้นตอนการออกแบบและการทดสอบวงจร

สำหรับโครงการนี้ การจำลองเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้าได้มีการออกแบบวงจรทระดับแรงดัน วงจรวงจรขยายสัญญาณพัลส์ และวงจรขับ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 วงจรทระดับแรงดัน

การออกแบบวงจรทระดับแรงดัน จะต้องหาค่าตัวเหนี่ยวนำน้อยสุดที่วงจรทระดับแรงดันสามารถทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ ซึ่งหาได้จากสูตร

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (3.1)$$

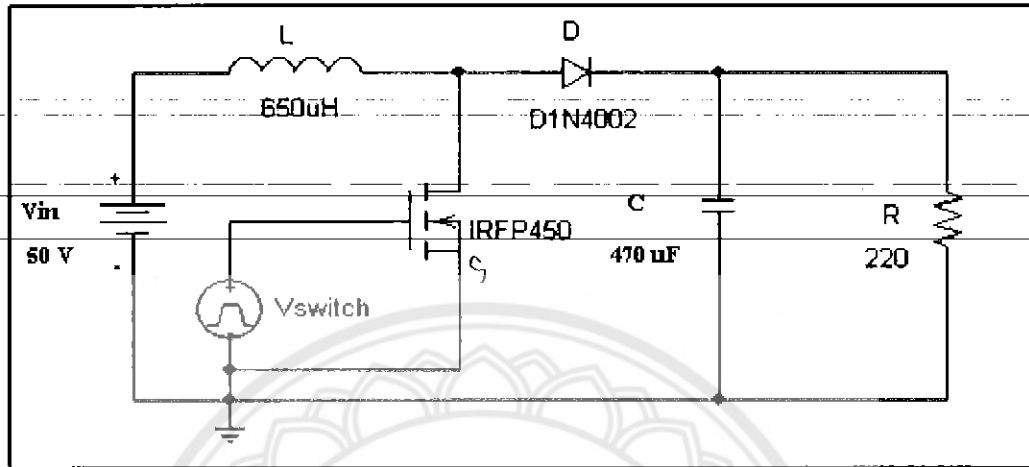
การหาค่า  $L_{min}$  ต้องหาที่ ดีวตี้ไซเคิลทั้งหมดตั้งแต่ 0.1-0.9 เพื่อหาค่า  $L_{min}$  ที่มีค่ามากที่สุด แทนค่าจากพารามิเตอร์ทั้งหมดคือ ค่า  $R = 220$  โอห์ม,  $f = 25$  กิโลเฮิร์ตซ์ และที่ ดีวตี้ไซเคิล  $D = 0.5$  จะเป็นค่า  $L_{min}$  คือ 550 ไมโครเฮนรี่ เพราะฉะนั้นสามารถใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำ 650 ไมโครเฮนรี่ ที่ออกแบบไว้ในข้างต้นแล้วในวงจรทระดับแรงดันได้

จากการคำนวณข้างต้น จะพบว่าตัวเหนี่ยวนำที่ได้ทำการออกแบบให้เหมาะสมกับเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคด้วยกระแสไฟฟ้านี้ มีค่า 139 มิลลิเฮนรี่ และได้ทำการสร้างตัวเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 3.2



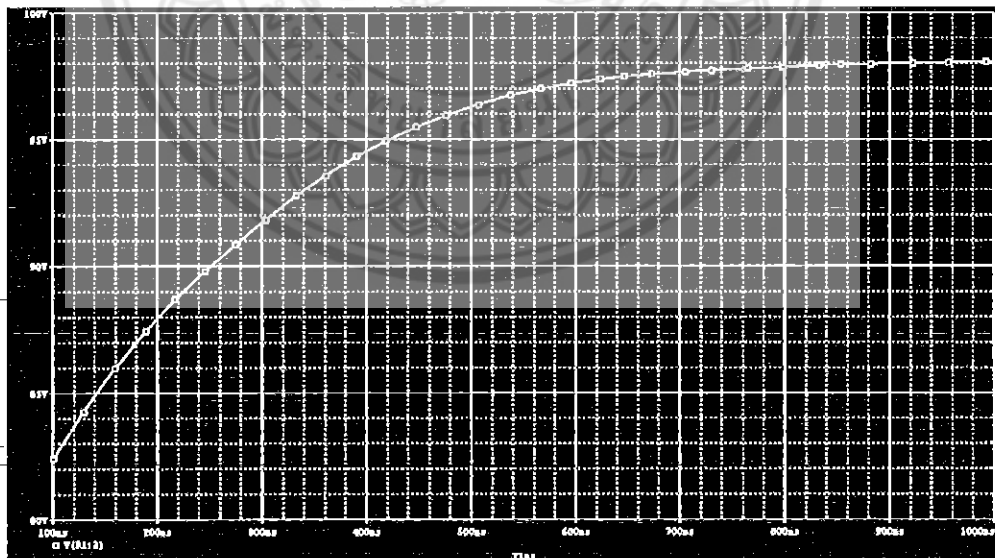
รูปที่ 3.2 ตัวเหนี่ยวนำที่ได้ทำการออกแบบให้เหมาะสมกับเครื่องกระตุ้นเนื้อ โคด้วยกระแสไฟฟ้า

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบวงจรทระดับแรงดัน โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การจำลองวงจรทระดับแรงดัน ในโปรแกรม Pspice ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3



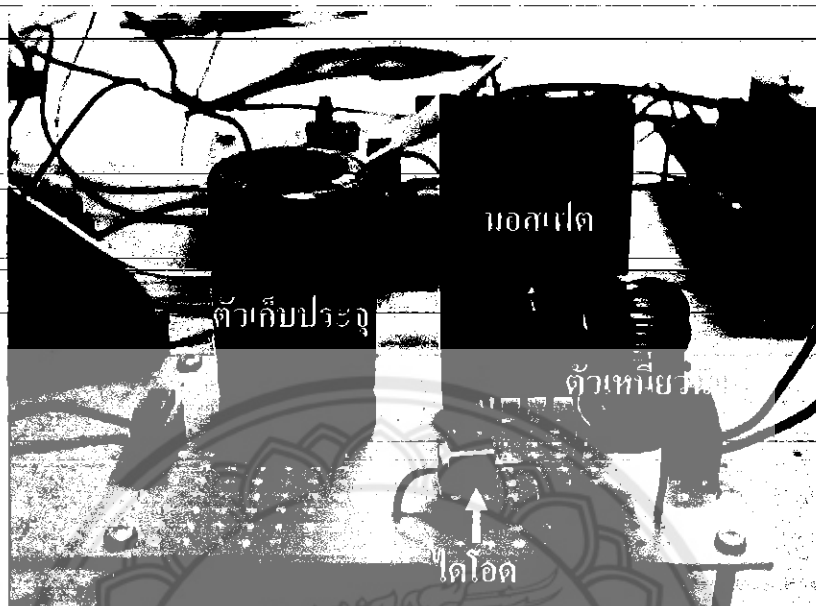
รูปที่ 3.3 วงจรทระดับแรงดันที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Pspice

จากการจำลองวงจรในโปรแกรม Pspice โดยกำหนดให้แรงดันขาเข้าเท่ากับ 50 โวลต์ จะพบว่าแรงดันขาออกได้เท่ากับ 98 โวลต์ ดังรูปที่ 3.4



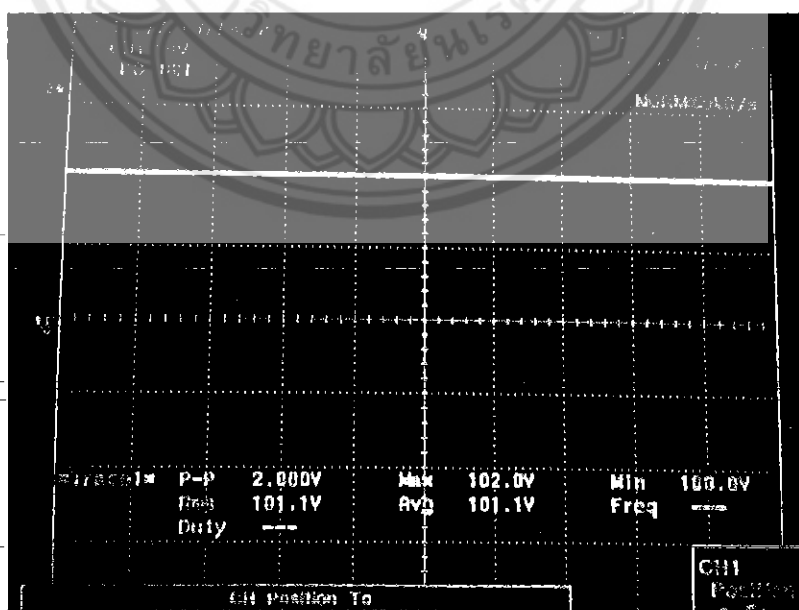
รูปที่ 3.4 ผลการจำลองวงจรทระดับแรงดันที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Pspice

ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างแฉวงจรทระดับแรงดัน โดยการนำพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้  
คำนวณไว้ข้างต้นมาประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แฉวงจรถดับแรงดัน

เมื่อได้แฉวงจรถดับแรงดันแล้ว จะทำการวัด โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัด  
สัญญาณแรงดันขาออก ซึ่งได้ค่าแรงดันขาออกเท่ากับ 102 โวลต์ ดังรูปที่ 3.6 จึงเป็นไปตามทฤษฎี

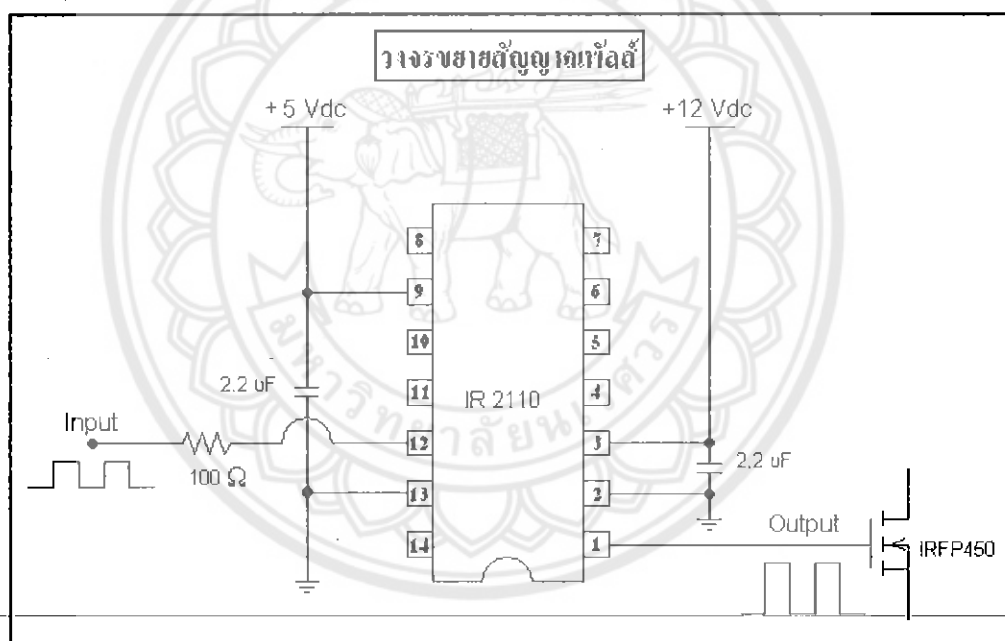


รูปที่ 3.6 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรถดับแรงดัน

### 3.2.2 การสร้างวงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณ

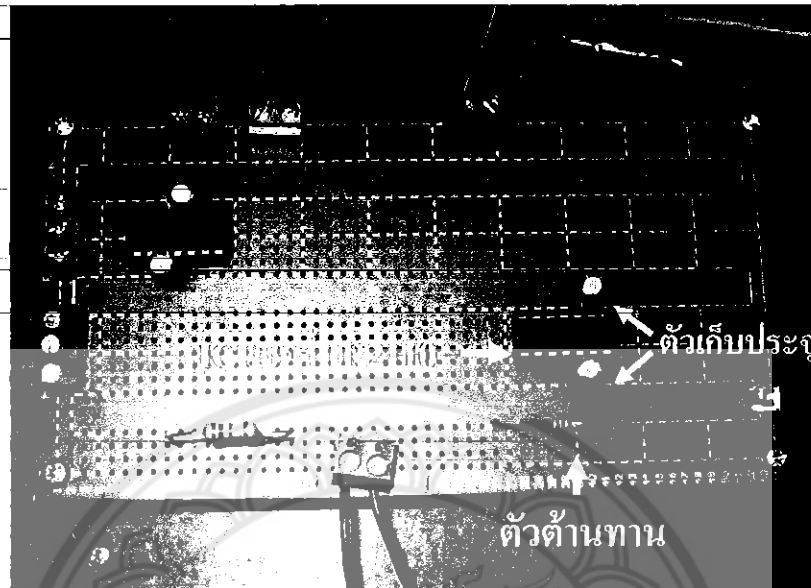
สร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 0.25 เฮิรตซ์ จากบอร์ดสำเร็จรูป PIC16F877 ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซี (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก) เพื่อนำสัญญาณพัลส์ไปขับมอเตอร์ในวงจรทบระดับแรงดัน

สร้างวงจรขยายสัญญาณพัลส์ โดยใช้ IC สำเร็จรูปเบอร์ IR 2110 เพื่อนำสัญญาณพัลส์ที่ได้จากบอร์ด PIC16F877 ไปขยายสัญญาณขับมอเตอร์ ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่สร้างจากบอร์ด PIC16F877 จะมีค่าแอมป์ริจูดประมาณ 5 โวลต์ ซึ่งยังไม่สามารถไปขับมอเตอร์ได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีวงจรสำหรับขยายสัญญาณพัลส์ โดยใช้ IR2110 เป็นตัวขยายสัญญาณพัลส์จากบอร์ด PIC16F877 โดยสัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะมีแอมป์ริจูดประมาณ 8-15 โวลต์ ซึ่งสามารถนำไปขับมอเตอร์ในวงจรทบระดับแรงดัน และวงจรชอปเปอร์ได้ดังที่แสดงในรูปที่ 3.7



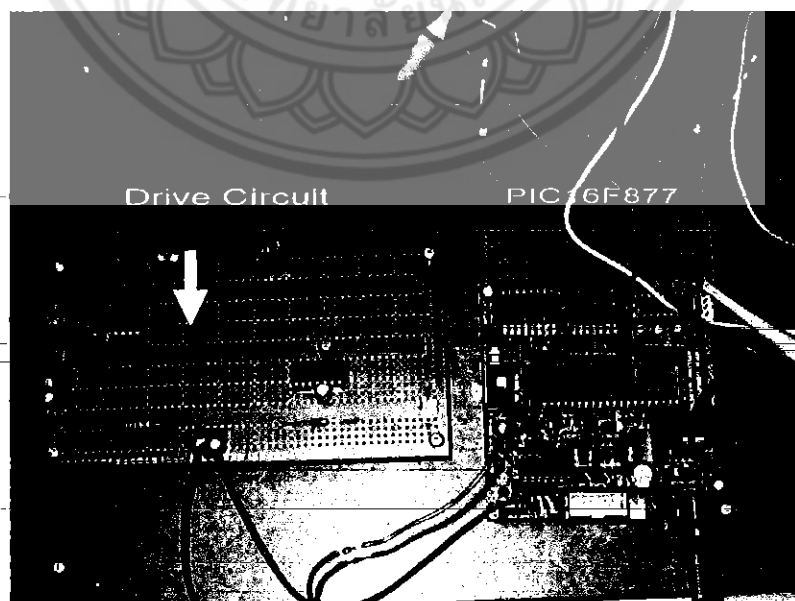
รูปที่ 3.7 วงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรขับสัญญาณที่ได้ทำการออกแบบไว้

แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรขับสัญญาณหลังจากที่ประกอบเสร็จแล้วแสดงใน  
รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผงวงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรขับสัญญาณ

แต่ก่อนที่วงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรขับสัญญาณจะขยายสัญญาณได้นั้นจะต้องรับสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อน จึงจะสามารถนำไปขับมอเตอร์เฟดในวงจรทบระดับแรงดันและวงจรชอปเปอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



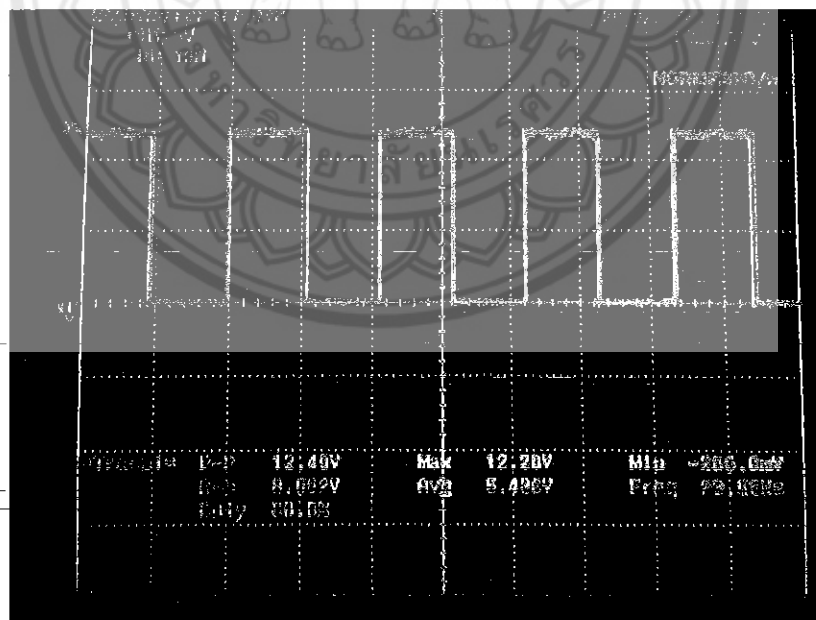
รูปที่ 3.9 การประกอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์



สัญญาณที่ขาออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัญญาณในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.10 และเมื่อได้ประกอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์หรือวงจรขับสัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วจะได้สัญญาณดังรูปที่ 3.11 ซึ่งได้เป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 3.10 สัญญาณที่ขาออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัญญาณในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

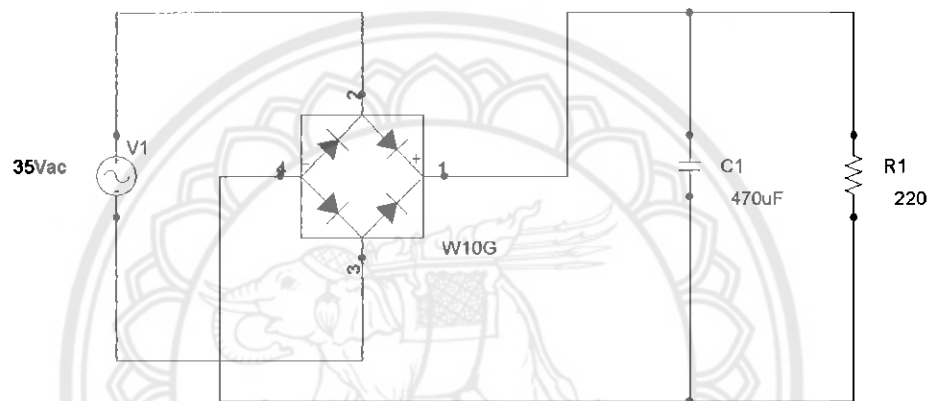


รูปที่ 3.11 สัญญาณขาออกเมื่อประกอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ หรือวงจรขับสัญญาณเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว

### 3.2.3 วงจรเรียงกระแส //

เนื่องจากเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นมด้วยกระแสไฟฟ้านี้ต้องการไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นจึงได้มีวงจรเรียงกระแส เพื่อเป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับจากหม้อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าไฟฟ้ากระแสตรงออกมาทางด้านขาออก

สำหรับ โครงการนี้เราจะเลือกใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงเซ็นเตอร์แท็ป ทำให้ประหยัดชิ้นและโคอิคจะนำกระแสครั้งละ 2 ตัว ทำให้โคอิคทนแรงดันสูงขึ้น ส่วนขาออกของวงจรตลอดจนรูปร่างจะมีลักษณะเหมือนกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทุกอย่าง ดังนั้นจึงได้มีออกแบบวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์แสดงในรูปที่ 3.12



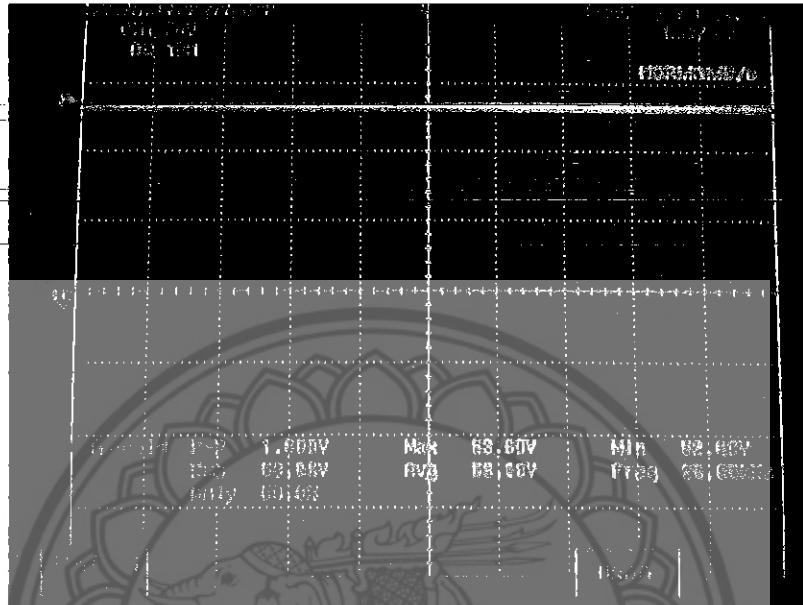
รูปที่ 3.12 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ที่ได้ทำการออกแบบไว้

แผงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์หลังจากที่ประกอบเสร็จแล้วแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แผงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

เมื่อได้แผงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์แล้ว ทำการวัดโดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัด  
สัญญาณแรงดันขาออก ดังแสดงรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 สัญญาณกระแสที่ขาออกจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

และจากการทดสอบวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์แล้ว จะพบว่าสัญญาณกระแสที่ออกจาก  
วงจรมีความเร็วขึ้นซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎี และถ้าต้องการใช้ไฟตรงที่เรียงกระแสออกมาเร็ว  
ขึ้นเราก็ต้องใช้ตัวเก็บประจุค่ามากๆ มาเป็นวงจรกรองกระแส ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่ามากการคายประจุ  
ก็จะต้องใช้เวลานานขึ้น จึงทำให้ไฟกระแสตรงที่ออกมาเร็วที่สุด

### 3.3 การประกอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้า

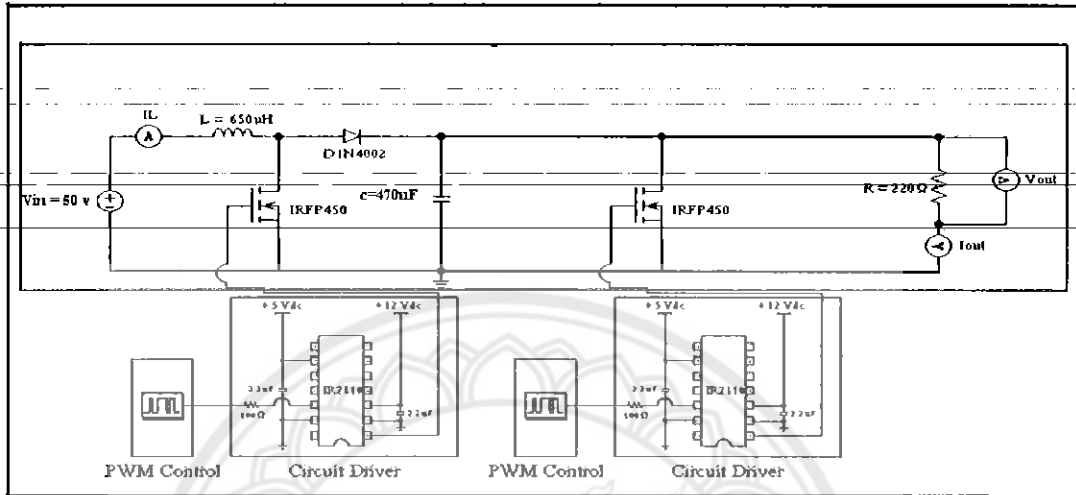
ขั้นตอนแรก นำไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ที่สร้างสัญญาณพัลส์ไปต่อเข้ากับ  
วงจรขับสัญญาณ เพื่อนำไปขยายสัญญาณให้ได้ขนาดของแอมป์ริจูดมากขึ้น จนสามารถจะขับมอส  
เฟตได้ ก่อนเข้าวงจรทระดับแรงดันต่อไป

ขั้นตอนที่สอง ต่อวงจรทระดับแรงดัน แล้วนำสัญญาณพัลส์ที่ขยายแล้วมาขับมอสเฟต  
ในตัววงจรทระดับแรงดันเพื่อทำให้ตัววงจรมันสามารถทำงานได้

ขั้นตอนที่สาม ต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Power Supply) เข้ากับตัววงจรท  
ระดับแรงดัน เพื่อให้แรงดันขนาด 35 โวลต์คงที่เข้าสู่ระบบ แรงดันดังกล่าวจะถูกกำหนดให้เป็น  
แรงดันขาเข้า (Input Voltage)

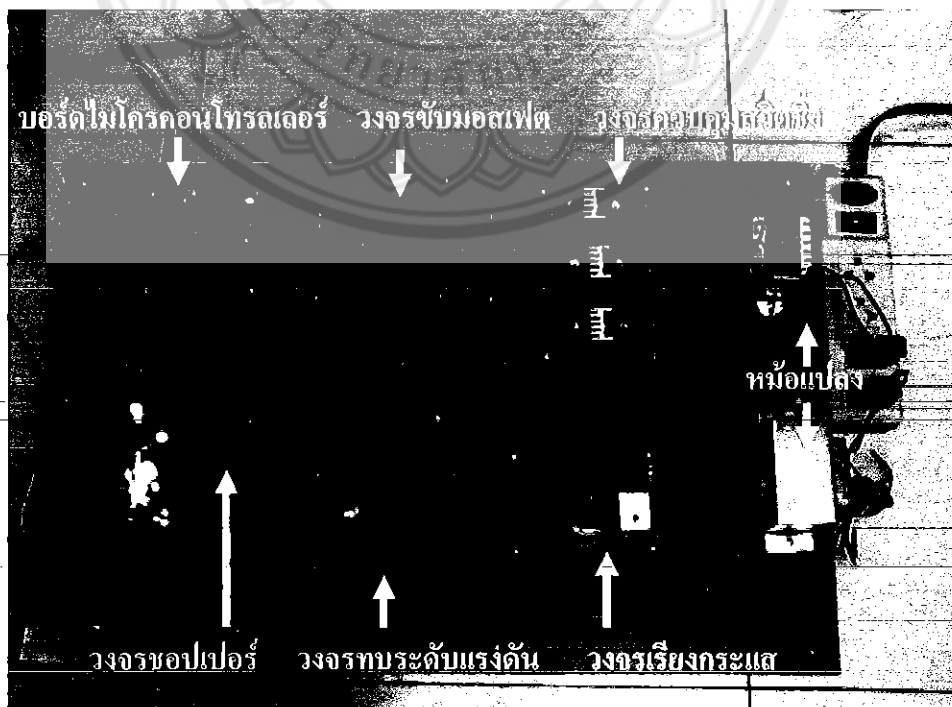
G 3.15  
D 11.1  
S 11.1

ขั้นตอนที่สี่ ปรับค่าคิวดิไอเซเกิด โดยการปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ออกแบบไว้ใน  
ขั้นต้นแล้วเพื่อเป็นการควบคุมการทำงานของวงจรทระดับแรงดัน ให้ได้แรงดันขาออกออกมา  
ตามต้องการ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนภาพการจำลองของการประกอบวงจรทั้งหมด

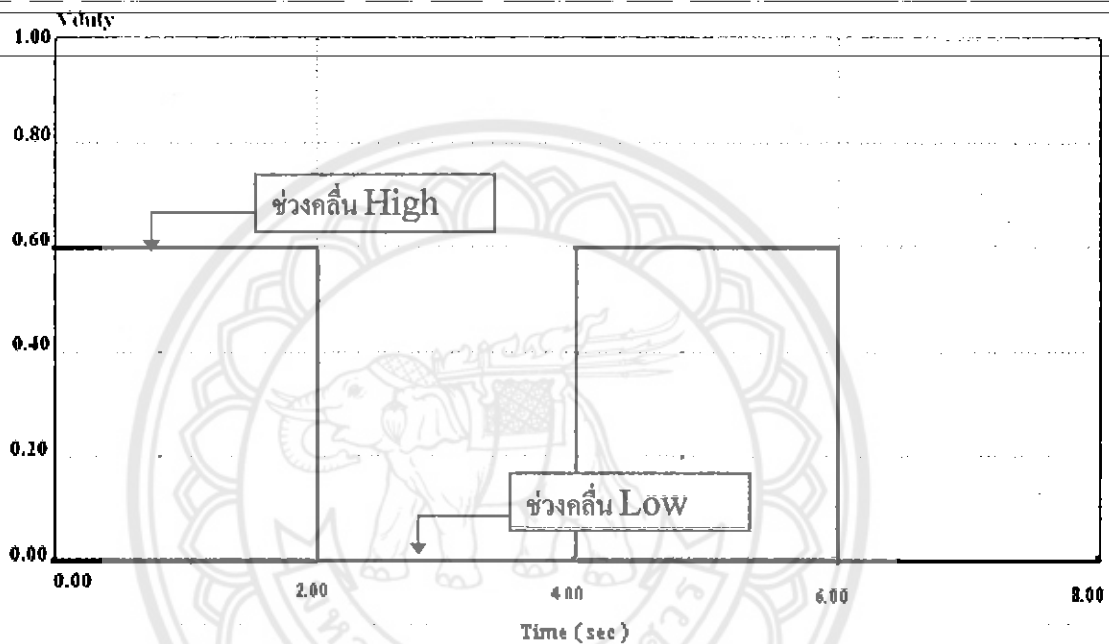
จากรูปที่ 3.16 จะเป็นแผนภาพการต่อวงจรการทำงานทั้งหมดของวงจรทระดับแรงดัน  
ซึ่งมีการนำวงจรขับสัญญาณมาประกอบเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.16 การประกอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าเข้าด้วยกัน

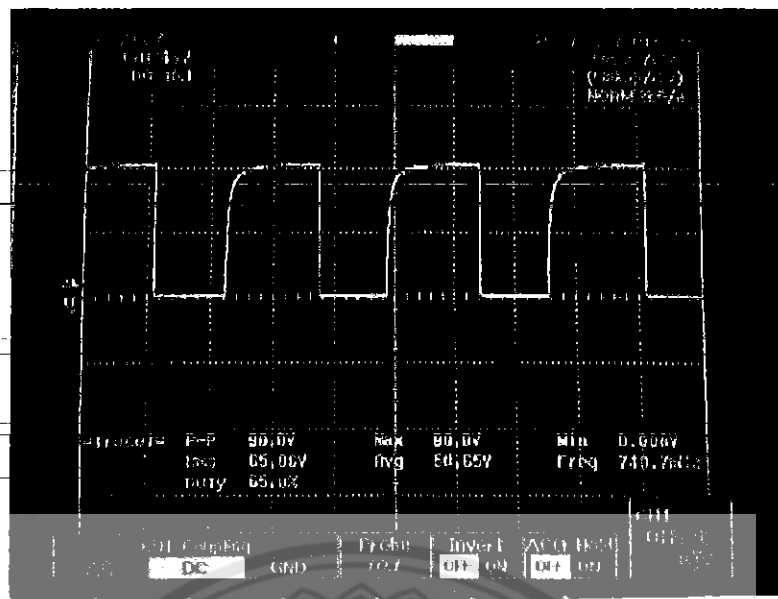
การวัดค่าค่าความถี่ไซเคิลทำได้โดยการใช้ออสซิลโลสโคปทำการวัดค่าความถี่ไซเคิลบริเวณที่กำหนดเป็นพอร์ตเอาต์พุต

ในการหาค่าความถี่ไซเคิลจากสัญญาณพัลส์นั้นจะดูได้จากช่วงของคาบคลื่น โดยค่าดังกล่าวจะได้มาจากช่วงที่สัญญาณเป็น High ใน 1 คาบ ตัวอย่างเช่น สัญญาณ 1 คาบใช้เวลา 4 วินาทีที่มีค่าความถี่ไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์ สัญญาณพัลส์จะอยู่ในช่วง High ประมาณ 2 วินาทีและจะอยู่ในช่วง Low ประมาณ 2 วินาทีต่อสัญญาณ 1 คาบ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างแบบสัญญาณพัลส์ที่ค่าความถี่ไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์

การวัดค่าแรงดันเอาต์พุตทำได้โดยใช้ออสซิลโลสโคปทำการวัดแรงดันขาออกที่บริเวณโหลด (โหลดตัวต้านทาน) จะได้สัญญาณดังรูปที่ 3.18 ที่มีแรงดันขาออก 90.0 โวลต์และค่าความถี่ไซเคิลที่ 65.0 % หรือ 0.65



รูปที่ 3.18 สัญญาณทางขาออกของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า และทำการปรับค่าความถี่ไซเคิลตั้งแต่ 0.3-0.65 จะได้แรงดันสูงสุดที่ขาออกของวงจรพบระดับแรงดันดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่าแรงดันสูงสุดที่ขาออกจากทฤษฎี และจากการทดลองจริงของวงจรของเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า

ค่าความถี่ไซเคิล	แรงดันขาเข้า (โวลต์)	แรงดันขาออก (โวลต์)		ความคลาดเคลื่อน (%)
		จากทฤษฎี	จากการทดลอง	
0.30	35	50.00	48.46	3.08
0.40	35	58.30	56.30	3.43
0.50	35	70.00	64.21	8.27
0.65	35	100.00	90.00	10.00

จากการทดลองในตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองจะได้ค่าแรงดันสูงสุดที่ขาออกไม่ตรงกับทฤษฎี เมื่อปรับค่าความถี่ไซเคิลสูงขึ้นจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น เช่น ที่ค่าความถี่ไซเคิล 0.30 มีค่าความคลาดเคลื่อน 3.08 เปอร์เซ็นต์ เมื่อปรับค่าความถี่ไซเคิล 0.50 มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็น 8.27 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

## บทที่ 4

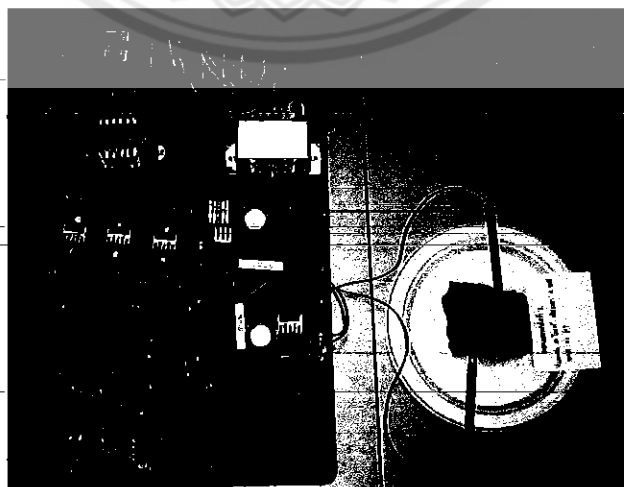
### วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองซึ่งจะใช้การกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำที่มีแรงดันไม่เกิน 150 โวลต์ และการทดสอบประสิทธิภาพตัวเครื่องตามผลวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ RCBD (Randomized Complete Block Design) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's New Multiple's Range Test) ดังแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งจะทำการทดสอบกับชิ้นเนื้อขนาด 3x3x3 ลูกบาศก์นิ้ว จำนวน 20 ชิ้นต่อ 1 สภาวะ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และทำการทดสอบโดยวิธีดังต่อไปนี้

1. การทดสอบทางเคมี จะดูการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง
2. การทดสอบทางกายภาพ วัดค่าแรงตักขาด โดยใช้เครื่อง Instron รุ่น 4411 และวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น DP9000 SH90905
3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้ 7-point Hedonic Scale

#### 4.1 วิธีการทดลอง

1. ทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการ โดยจะทำการกระตุ้นหลังจากที่โคถูกชำแหละทันที เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อโคจะเปลี่ยนแปลง ทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกระตุ้นเนื้อโคด้วยเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 สภาวะ ได้แก่

สภาวะที่ 1: กระตุ้นด้วยแรงดัน 50 โวลต์ กระแส 0.23 แอมแปร์ เป็นเวลา 2 นาที

สภาวะที่ 2: กระตุ้นด้วยแรงดัน 50 โวลต์ กระแส 0.23 แอมแปร์ เป็นเวลา 4 นาที

สภาวะที่ 3: กระตุ้นด้วยแรงดัน 90 โวลต์ กระแส 0.52 แอมแปร์ เป็นเวลา 2 นาที

สภาวะที่ 4: กระตุ้นด้วยแรงดัน 90 โวลต์ กระแส 0.52 แอมแปร์ เป็นเวลา 4 นาที

สภาวะที่ 5: ขึ้นเนื้อที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้น

ทดสอบกับชิ้นเนื้อส่วนสะโพกขนาด 3x3x3 ลูกบาศก์นิ้ว จำนวน 20 ชิ้นต่อ 1 สภาวะ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

2. ทดสอบผลวางแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

โดยได้แบ่งการทดสอบไว้ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบทางเคมี จะดูการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง

2. การทดสอบทางกายภาพ วัดค่าแรงตัดขาด โดยใช้เครื่อง Instron รุ่น 4411 และวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น DP9000 SH90905

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้ 7-Point Hedonic Scale

#### 4.2 การทดสอบทางเคมี

การทดสอบผลทางเคมี จะทดสอบโดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

สภาวะการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
1	5.43±0.15 <sup>a</sup>
2	5.27±0.06 <sup>b</sup>
3	5.17±0.03 <sup>b</sup>
4	5.17±0.03 <sup>b</sup>
5	5.50±0.03 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

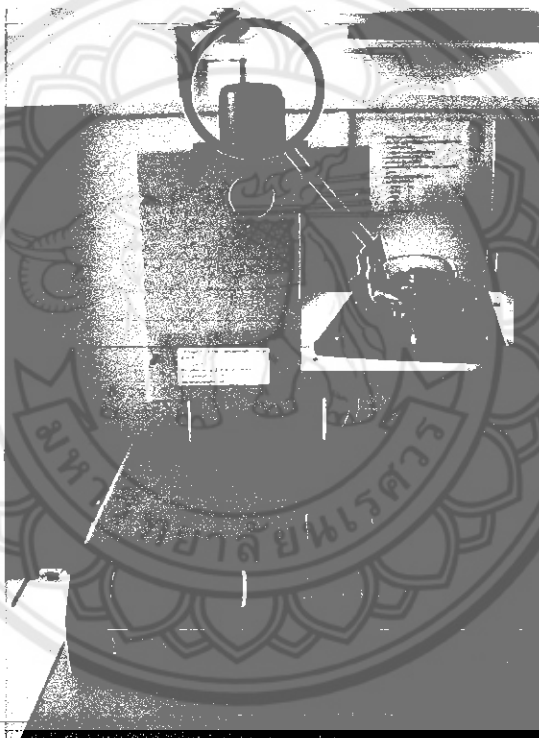
a, b, c ตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )



จากการทดลองทางเคมีจะได้ค่าความเป็นกรด-ด่างดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าที่สภาวะการทดลองที่ 1 เมื่อเทียบกับสภาวะการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงตามลำดับ และเมื่อนำสภาวะที่ 1, 2, 3 และ 4 มาเทียบกับสภาวะการทดลองที่ 5 จะเห็นว่ามีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

### 4.3 การทดสอบทางกายภาพ

การทดสอบทางกายภาพนี้ จะทำการวัดโดยวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น DP9000 SH90905 และวัดที่ค่าแรงตึงขาดโดยใช้เครื่อง Instron รุ่น 4411 ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 การวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น DP9000 SH90905

เมื่อทำการวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น DP9000 SH90905 และการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง สามารถสรุปออกมาได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าสี

สภาวะการทดลอง	สีของชิ้นเนื้อ		
	L	a	b
1	31.20±1.00 <sup>a</sup>	13.34±0.73 <sup>b</sup>	8.90±0.70 <sup>b</sup>
2	29.05±1.50 <sup>b,c</sup>	12.00±0.55 <sup>c</sup>	9.12±0.72 <sup>b</sup>
3	27.90±0.60 <sup>c</sup>	15.40±1.15 <sup>a</sup>	10.60±0.47 <sup>a</sup>
4	25.65±0.20 <sup>c</sup>	14.40±0.30 <sup>b</sup>	9.12±0.10 <sup>b</sup>
5	29.94±0.10 <sup>a,b</sup>	14.04±0.33 <sup>a,b</sup>	10.70±0.20 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c ตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เครื่อง Hunter system ที่ใช้เป็น Trichromatic system โดยมี Tristimulus values คือ ค่า L (lightness), a, b ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ค่า Hunter values L เป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 ค่า L เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด ค่า L เท่ากับ 100 เป็นสีสว่างมากที่สุด a เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว โดยที่ค่า a เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง ค่า a เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว b เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ค่า b เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง ค่า b เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน การที่ค่า a และ b มีทั้งค่าบวกและลบ ทำให้โครงสร้างของระบบถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน (quadrant) ได้แก่

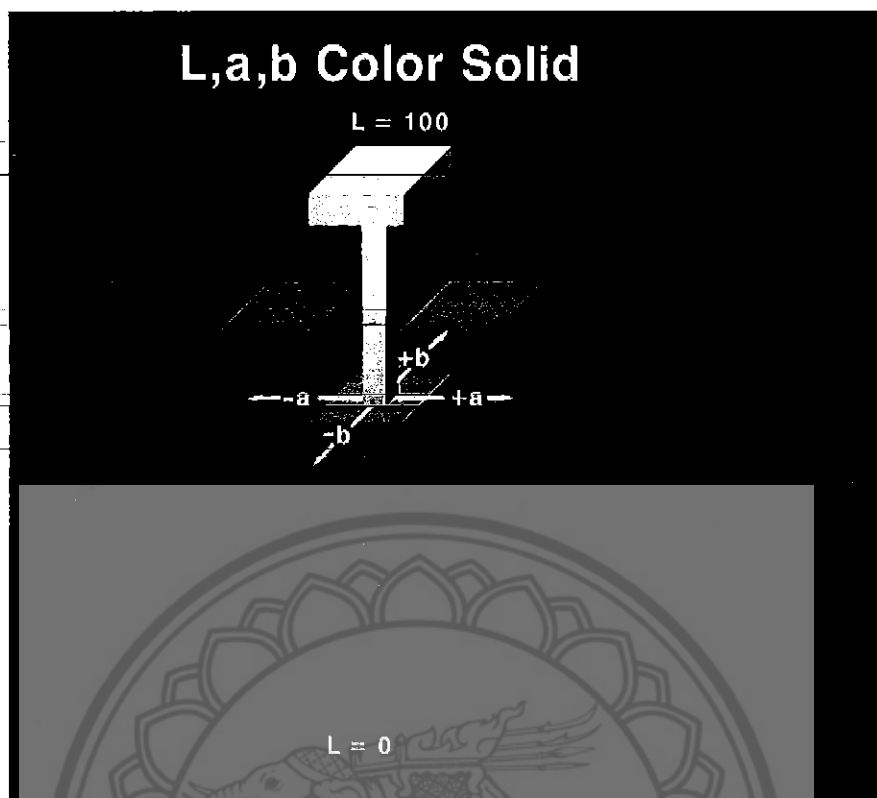
Quadrant 1 yellow – green -a, +b

Quadrant 2 yellow – red +a, +b

Quadrant 3 red – blue +a, -b

Quadrant 4 blue – green -a, -b

ซึ่งค่าสีของชิ้นเนื้อ L, a, b สามารถเทียบได้จากรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สเกลเปรียบเทียบค่าสีของชิ้นเนื้อ L, a, b

จากผลการทดลองด้านคุณสมบัติสีของเนื้อโคที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำที่สภาวะต่างๆเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมตามตารางที่ 4.2 จะได้ว่า

- ที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เวลา 2 นาที มีค่าความสว่าง (L) 31.20, ค่าสีแดง (a) 13.34, ค่าสีเหลือง (b) 8.90 และที่เวลา 4 นาที มีค่าความสว่าง (L) 29.05, ค่าสีแดง (a) 12.00, ค่าสีเหลือง (b) 9.12 เมื่อเทียบค่าต่างๆ ของทั้งสองช่วงเวลาพบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าลดลง 2.15, ค่าสีแดง (a) ลดลง 1.34, ค่าสีเหลือง (b) เพิ่มขึ้น 0.22 เพราะฉะนั้นเวลาในการกระตุ้นมีผลกระทบต่อค่าความสว่างและค่าสีทั้ง 2 กรณี

- ที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เวลา 2 นาที มีค่าความสว่าง (L) 27.90, ค่าสีแดง (a) 15.40, ค่าสีเหลือง (b) 10.60 และที่เวลา 4 นาที มีค่าความสว่าง (L) 25.65, ค่าสีแดง (a) 14.40, ค่าสีเหลือง (b) 9.12 เมื่อเทียบค่าต่างๆ ของทั้งสองช่วงเวลาพบว่า ค่าความสว่าง (L) มีค่าลดลง 2.25, ค่าสีแดง (a) ลดลง 1.10, ค่าสีเหลือง (b) ลดลง 0.48 เพราะฉะนั้นเวลาในการกระตุ้นมีผลกระทบต่อค่าความสว่างและค่าสีทั้ง 2 กรณี

ดังนั้นสรุปได้ว่าที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เวลา 4 นาที มีค่าความสว่างซึ่งจะมีค่าความสว่างลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบได้จากรูปที่ 4.3 และเมื่อพิจารณาค่าสีแดง พบว่าผลของระยะเวลาและแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แนวโน้มของค่าสีแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็น

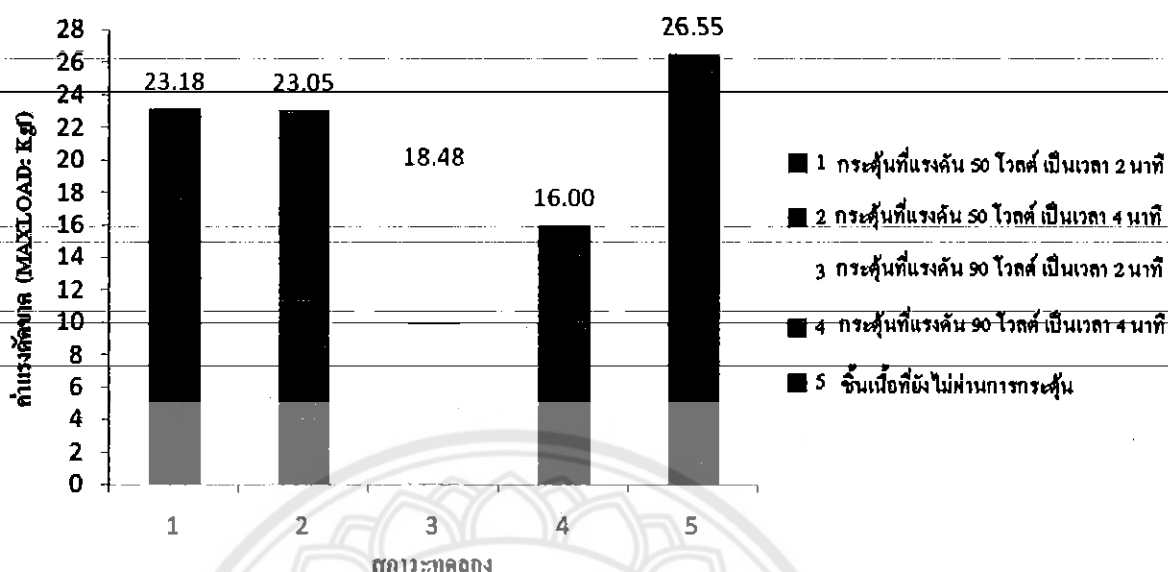
ผลเนื่องจากผลของกระแสไฟฟ้าทำให้การแตกตัวของเซลล์เกิดได้มากขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อมีแนวโน้มสูงขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินทำให้สีของเนื้อเข้มขึ้นและค่าสีแดงลดลง สำหรับผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าแรงดันไฟฟ้าและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจาก กระแสไฟฟ้าที่กระตุ้นจะส่งผลต่อการเร่งการเกิดปฏิกิริยากับน้ำในเนื้อโค (hydrolysis) ทำให้เกิดการสลายตัวของไกลโคเจน (glycogen) ทำให้เปลี่ยนเป็นกรดแลคติกมากขึ้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง



รูปที่ 4.4 การวัดค่าแรงตัดขาดโดยใช้เครื่อง Instron รุ่น 4411

และจากการทดสอบการวัดค่าแรงตัดขาดโดยใช้เครื่อง Instron รุ่น 4411 สามารถสรุปได้

ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่าแรงตัดขาดของชิ้นเนื้อที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ และ 90 โวลต์

- การกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เวลา 2 นาที มีค่าแรงตัดขาด 23.18 กิโลกรัมแรง (Kilogram force: Kgf) และเมื่อเทียบกับการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เวลา 4 นาที ที่มีค่าแรงตัดขาด 23.05 กิโลกรัมแรง จะเห็นได้ว่าการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เวลา 4 นาที มีค่าแรงตัดขาดลดลง 0.13 กิโลกรัมแรง แสดงว่าที่แรงดัน 50 โวลต์ เวลาได้มีผลกระทบต่อค่าแรงตัดขาดเพียงเล็กน้อย

- การกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เวลา 2 นาที มีค่าแรงตัดขาด 18.48 กิโลกรัมแรง และเมื่อเทียบกับการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เวลา 4 นาที ที่มีค่าแรงตัดขาด 16.00 กิโลกรัมแรง จะเห็นได้ว่าการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เวลา 4 นาที ค่าแรงตัดขาดมีค่าลดลง 2.48 กิโลกรัมแรง แสดงว่าที่แรงดัน 90 โวลต์ เวลาได้มีผลกระทบต่อแรงตัดขาดมากกว่าที่แรงดัน 50 โวลต์

จากผลการทดลองวัดค่าแรงตัดขาดของชิ้นเนื้อทั้ง 5 สภาวะ พบว่าสภาวะการทดลองที่ 4: การกระตุ้นที่แรงดัน 90 โวลต์ เป็นเวลา 4 นาที มีค่าแรงตัดขาดน้อยที่สุดคือ 16.00 กิโลกรัมแรง เมื่อเทียบกับสภาวะการทดลองอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อความนุ่มที่เพิ่มขึ้นของชิ้นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส

#### 4.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสนั้นจะวัดโดยใช้ 7-point Hedonic Scale โดยจะทำการทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 30 คน โดยจะให้ผู้บริโภครับชิ้นเนื้อที่ถูกทำให้สุกโดยคัมในวุ้นร้อน จนอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ที่ทำเป็นชิ้นขนาด 1x1x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วตอบแบบสอบถามดังแสดงในรูปที่ 4.6 และวางแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสเรื่อง ความนุ่มของเนื้อโค

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ  หญิง  ชาย 2. อายุ ..... ปี

ส่วนที่ 2 ความรู้สึกในส่วของเนื้อที่รับประทาน

Code No.	216	375	429	571	689
คะแนนความชอบ					
ลักษณะเนื้อสัมผัส					
กลิ่น - รสชาติ					
ความชอบโดยรวม					

ระดับการให้คะแนน

1 ไม่ชอบมากที่สุด 2 ไม่ชอบมาก 3 ไม่ชอบ 4 เฉยๆ  
5 ชอบ 6 ชอบมาก 7 ชอบมากที่สุด

รูปที่ 4.6 แบบสอบถามเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสเรื่องความนุ่มของเนื้อโค

จากรูปที่ 4.6 รหัสตัวเลข (Code No.) ที่ใช้ในการกำหนดในแบบสอบถาม กำหนดขึ้นขึ้นเพื่อไม่ให้ผู้ที่กรอกแบบสอบถามทราบว่าชิ้นเนื้อแต่ละชิ้นผ่านการกระตุ้นที่ระดับแรงดันไฟฟ้าและเวลาเท่าไรบ้าง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

สภาวะการทดลอง	ผลการทดสอบประสาททางสัมผัส		
	ลักษณะเนื้อสัมผัส	กลิ่น-รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1 (216)	3.80±0.13 <sup>b</sup>	3.83±0.12 <sup>b</sup>	3.73±0.11 <sup>c</sup>
2 (375)	3.90±0.13 <sup>b</sup>	3.87±0.12 <sup>b</sup>	3.83±0.11 <sup>b,c</sup>
3 (429)	4.03±0.13 <sup>b</sup>	4.03±0.12 <sup>b</sup>	4.10±0.11 <sup>b</sup>
4 (571)	5.00±0.13 <sup>a</sup>	5.10±0.12 <sup>a</sup>	5.53±0.11 <sup>a</sup>
5 (689)	4.83±0.13 <sup>b</sup>	3.83±0.12 <sup>b</sup>	3.80±0.11 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c ตามแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

การกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ 2 นาที มีค่าเฉลี่ยเนื้อสัมผัส 3.80, กลิ่น-รสชาติ 3.83 และความชอบโดยรวม 3.73 และที่เวลา 4 นาที มีค่าเฉลี่ยเนื้อสัมผัส 3.90, กลิ่น-รสชาติ 3.87 และความชอบโดยรวม 3.83 เมื่อเทียบค่าต่างๆ ของทั้งสองช่วงเวลาพบว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 3 กรณีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผู้บริโภคมีความชอบเนื้อโคที่ผ่านการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เวลา 4 นาที มากกว่าเนื้อโคที่ผ่านการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์ เวลา 2 นาที

การกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ 2 นาที มีค่าเฉลี่ยเนื้อสัมผัส 4.03, กลิ่น-รสชาติ 4.03 และความชอบโดยรวม 4.10 และที่เวลา 4 นาที มีค่าเฉลี่ยเนื้อสัมผัส 5.00, กลิ่น-รสชาติ 5.10 และความชอบโดยรวม 5.53 เมื่อเทียบค่าต่างๆ ของทั้งสองช่วงเวลาพบว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 3 กรณีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผู้บริโภคมีความชอบเนื้อโคที่ผ่านการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เวลา 4 นาที มากกว่าเนื้อโคที่ผ่านการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เวลา 2 นาที

เมื่อนำสภาวะการทดลองทั้ง 5 สภาวะการทดลองมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าที่สภาวะการทดลองที่ 1: กระตุ้นที่แรงดัน 50 โวลต์ เป็นเวลา 2 นาที มีค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น-รสชาติ และความชอบโดยรวมต่ำที่สุด และสภาวะการทดลองที่ 4: กระตุ้นที่แรงดัน 90 โวลต์ เป็นเวลา 4 นาทีนั้น มีค่าเฉลี่ยลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น-รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงสุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้งทางด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรสชาติ และการยอมรับโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 1. การทดสอบประสิทธิภาพของวงจร

การทดสอบการทำงานของวงจรเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้หุ้มด้วยกระแสไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าแรงดันขาออกจะมีค่ามากกว่าแรงดันขาเข้า เนื่องจากวงจรทระดับแรงดันทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันด้านขาออก โดยป้อนแรงดันด้านเข้าที่หม้อแปลง 35 โวลต์เมื่อทำการวัดค่าแรงดันด้านออกจะได้ระดับแรงดันประมาณ 102 โวลต์โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณในการวัดค่าสัญญาณด้านเข้าและด้านออก

เมื่อทำการปรับค่าคิวดี้ไซเคลตั้งแต่ 0.3-0.65 โดยแสดงค่าแรงดันขาออกที่คิวดี้ไซเคลต่างๆ โดยปรับให้แรงดันขาเข้าที่หม้อแปลงมีค่าคงที่ 35 โวลต์ แล้วนำแรงดันขาออกที่ได้ตามทฤษฎี และแรงดันขาออกที่ได้จากการทดลองจริงมาเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 3.1 จะพบว่าเมื่อปรับค่าคิวดี้ไซเคลแล้วแรงดันขาออกจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี แต่ผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อน เช่น ปรับคิวดี้ไซเคล 0.4 แรงดันขาเข้าที่หม้อแปลง 35 โวลต์ตามทฤษฎีจะได้แรงดันขาออก 58.30 โวลต์ แต่ที่ทดสอบจริงได้แรงดันขาออก 56.30 โวลต์ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน 3.43% ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันขาออกจากการทดสอบจริงจะมีค่าการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด ตัวขับสัญญาณแต่ละตัว และอุปกรณ์สวิตซ์

##### 2. การทดสอบคุณภาพของเนื้อโคหลังจากที่ผ่านการกระตุ้น

จากผลการทดลองเครื่องกระตุ้นกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้า โดยในการกระตุ้นจะแบ่งแรงดันออกเป็น 2 ระดับคือ 50 โวลต์ และ 90 โวลต์ ที่เวลา 2 และ 4 นาที จากการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการทดสอบทางเคมีจะทดสอบ โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าที่สภาวะการทดลองที่ 4 เมื่อเทียบกับสภาวะการทดลองที่ 5 จะเห็นได้ว่ามีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบทางกายภาพโดยจะทำการวัด โดยวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น DP9000 SH90905 และวัดที่ค่าแรงตักขาดโดยใช้เครื่อง Instron รุ่น 4411 จากผลการทดลองวัดค่าแรงตักขาดของชิ้นเนื้อทั้ง 5 สภาวะ พบว่าสภาวะการทดลองที่ 4: การกระตุ้นที่แรงดัน 90 โวลต์



เป็นเวลา 4 นาที มีค่าแรงตักขาดน้อยที่สุดคือ 16.00 กิโลกรัมแรง เมื่อเทียบกับสภาวะการทดลองอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อความนุ่มที่เพิ่มขึ้นของชิ้นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับผลการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะพบว่าที่สภาวะการทดลองที่ 4: กระตุ้นเนื้อโคที่แรงดัน 90 โวลต์ เป็นเวลา 4 นาทีนั้น มีค่าเฉลี่ยเนื้อสัมผัส 5.00, กลิ่น-รสชาติ 5.10 และความชอบโดยรวม 5.53 เมื่อเทียบกับค่าต่างๆ ของสภาวะการทดลองที่ 5: เนื้อโคที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น นั้น มีค่าเฉลี่ยเนื้อสัมผัส 4.83, กลิ่น-รสชาติ 3.83 และความชอบโดยรวม 3.80 จะพบว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 3 กรณีมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสทั้งทางด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรสชาติ และการยอมรับโดยรวมดีขึ้น

ในเบื้องต้นส่งผลต่อความสามารถในการทำให้เนื้อนุ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมโดยที่เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้า 50 โวลต์เป็น 90 โวลต์ และระยะเวลาให้นานขึ้นจาก 2 นาที เป็น 4 นาที จะพบได้ว่ามีผลต่อความนุ่มที่เพิ่มมากขึ้นจริง แต่ลักษณะปรากฏเรื่องสี ความสว่างและค่าสีแดง และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มลดลง ที่เป็นแบบนี้เพราะว่ากระแสไฟฟ้านั้นจะทำให้การแตกตัวของเซลล์เกิดได้มากขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในกล้ามเนื้อมีแนวโน้มสูงขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินทำให้สีของเนื้อเข้มขึ้นและค่าสีแดงลดลง และจะส่งผลต่อการเร่งการเกิดปฏิกิริยากับน้ำในเนื้อโค (hydrolysis) ทำให้เกิดการสลายตัวของไกลโคเจน (glycogen) และเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกมากขึ้น จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ดังนั้นถ้ายิ่งใช้แรงดันสูงขึ้นความนุ่มของเนื้อ โคจะมีมากขึ้น แต่คุณภาพลักษณะปรากฏของเนื้อ โคหลังการกระตุ้นจะมีคุณภาพลดลง

## 5.2 ปัญหาที่พบ

การทดลองครั้งนี้ได้แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ปัญหาทางตัวเครื่อง จะอยู่ที่การปรับค่าควิตซ์ไชเกิด เพราะปรับได้แค่ 0.3 - 0.65 เนื่องจากถ้าปรับค่าควิตซ์ไชเกิดต่ำกว่า 0.3 ตัวด้านทานที่ปรับค่าได้จะไหม้ เพราะเมื่อปรับตัวด้านทานให้มีค่าควิตซ์ไชเกิดต่ำกว่า 0.3 จะทำให้ตัวด้านทานที่ปรับค่าได้นี้ไปต่อกับกราวน์โดยตรง จึงทำให้เกิดการช็อคขึ้น และถ้าปรับค่าควิตซ์ไชเกิดมากกว่า 0.65 อุปกรณ์ภายในวงจรแต่ละตัวจะร้อนมากขึ้น จนทำให้อุปกรณ์นั้นไหม้ได้

2. ปัญหาทางการทดสอบ เนื่องจากเครื่องกระตุ้นนี้เป็นเครื่องกระตุ้นแบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ เพราะฉะนั้นการทดลองต้องทดลองหลังจากที่สัตว์ตายทันที ไม่เช่นนั้นผลที่ได้ออกมาจะมีความคลาดเคลื่อน และตำแหน่งที่ทำการช็อคไม่แน่นอน ขนาดของเนื้อ ไม่ได้มาตรฐาน บางชิ้นอาจจะใหญ่เกินไป บางชิ้นอาจจะเล็กเกินไป ทำให้ค่าต่างๆ คลาดเคลื่อน

### 5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

สำหรับเครื่องกระตุ้นเนื้อโคให้นุ่มด้วยกระแสไฟฟ้านี้เป็นการกระตุ้นแบบใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ เพราะฉะนั้นจึงสามารถนำต้นแบบเครื่องกระตุ้นเนื้อโคด้วยกระแสไฟฟ้าง่ายๆ ไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น โดยการเพิ่มกระแสและแรงดันให้มากขึ้นซึ่งสามารถดูได้จากผลการทดลอง



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Muhammad H. Rashid. POWER ELECTRONICS CIRCUIT, DEVICES AND APPLICATION. Third Editions. : Prentice Hall
- [2] Stiffler, D. M., G. C. Smith, J. W. Savell, T.R. Dutson, C. L. Giffin and M. W. Orcutt. 1984. Comparison of the effects of high and low voltage electrical stimulation on quality-indicating characteristics of beef carcassas. J. Food Sci 49:863
- [3] จรัญ จันทลักขณา 2523. สถิติวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย. บริษัท สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชจำกัด. กรุงเทพฯ. ชัยณรงค์ คันทพิณิต. 2523. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. บริษัท สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด. กรุงเทพฯ.
- [4] ชัยณรงค์ คันทพิณิต, วรณวิมล สาสนรักกิจ, สมศักดิ์ เลิศสิทธิชัย และพิจิต เถินहित. 2529. เครื่องกระตุ้นซากด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงความเหนียวและคุณภาพเนื้อโคอายุมาก. การประชุมทางวิชาการสาขาสัตว ครั้งที่ 24 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] วีรเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์ 2549. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง.
- [6] อิเล็กทรอนิกส์, “อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์”. [Online] Available: <http://www.warf.com/index.php?action=productreiew&productitems=1311>





## โปรแกรมภาษาซีที่ใช้ในการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์

การเขียนโปรแกรมภาษาซีที่ควบคุมการปล่อยสัญญาณพัลส์เพื่อไปขับมอเตอร์ของ  
วงจรทบทแรงดัน (Boost Converter) และวงจรชอปเปอร์ (Chopper)

```
// frequency ,25 HZ d 50% PIN RC1, RC2 PIC16F877 TOM 084-4883791 INPUT-A/D RA0
```

```
#include<16f877.h>

#use delay(clock=1000000)
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#use fast_io(C)
void main() //main function
{
    char value;
    setup_adc_ports( ALL_ANALOG );
    setup_ade( ADC_CLOCK_INTERNAL );
    set_adc_channel( 0 );
    set_tris_c(0b10000000);
    delay_ms(100);
    while(TRUE){ //Infinif LooP
        value = Read_ADC0;
        if((value>=0)&&(value<=5)){
            output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
            output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
        }
        else if((value>=6)&&(value<=10)){
            output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
            output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
            delay_ms(100);
            output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
```

```
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3900);
}

else if((value>=11)&&(value<=15)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(200);

output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3800);
}

else if((value>=16)&&(value<=20)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(300);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3700);
}

else if((value>=21)&&(value<=25)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(400);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3600);
}

else if((value>=26)&&(value<=30)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(500);
```

```

output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3500);
}
else if((value>=31)&&(value<=35)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(600);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3400);
}
else if((value>=36)&&(value<=40)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(700);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3300);
}
else if((value>=41)&&(value<=45)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(800);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3200);
}
else if((value>=46)&&(value<=50)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2

```



```

delay_ms(900);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3100);
}
else if((value>=51)&&(value<=55)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1000);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(3000);
}
else if((value>=56)&&(value<=60)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1100);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2900);
}
else if((value>=61)&&(value<=65)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1200);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2800);
}
else if((value>=66)&&(value<=70)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1

```

```
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1300);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2700);
}
else if((value>=71)&&(value<=75)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1400);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2600);
}
else if((value>=76)&&(value<=80)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1500);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2500);
}
else if((value>=81)&&(value<=85)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1600);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2400);
}
else if((value>=86)&&(value<=90)){
```

```
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1700);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2300);
}
else if((value>=91)&&(value<=95)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1800);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2200);
}
else if((value>=96)&&(value<=100)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(1900);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2100);
}
else if((value>=101)&&(value<=105)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(2000);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(2000);
}
```

```
else if((value>=106)&&(value<=110)){  
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1  
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2  
    delay_ms(2100);  
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1  
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2  
    delay_ms(1900);  
}
```

```
else if((value>=111)&&(value<=115)){  
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1  
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2  
    delay_ms(2200);  
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1  
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2  
    delay_ms(1800);  
}
```

```
else if((value>=116)&&(value<=120)){  
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1  
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2  
    delay_ms(2300);  
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1  
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2  
    delay_ms(1700);  
}
```

```
else if((value>=121)&&(value<=125)){  
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1  
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2  
    delay_ms(2400);  
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1  
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
```

```
    delay_ms(1600);
  }
  else if((value>=126)&&(value<=130)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(2500);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(1500);
  }
  else if((value>=131)&&(value<=135)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(2600);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(1400);
  }
  else if((value>=136)&&(value<=140)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(2700);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(1300);
  }
  else if((value>=141)&&(value<=145)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(2800);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
```

```
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(1200);
}

else if((value>=146)&&(value<=150)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(2900);

    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(1100);
}

else if((value>=151)&&(value<=155)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(3000);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(1000);
}

else if((value>=156)&&(value<=160)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(3100);

    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(900);
}

else if((value>=161)&&(value<=165)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(3200);
```

```
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(800);
}
else if((value>=166)&&(value<=170)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(3300);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(700);
}
else if((value>=171)&&(value<=175)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(3400);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(600);
}
else if((value>=176)&&(value<=180)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
delay_ms(3500);
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
delay_ms(500);
}
else if((value>=181)&&(value<=185)){
output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
```

```

    }

    delay_ms(3600);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2

    delay_ms(400);
}

else if((value>=186)&&(value<=190)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2

    delay_ms(3700);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(300);
}

else if((value>=191)&&(value<=195)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(3800);
    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(200);
}

else if((value>=196)&&(value<=200)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1
    output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
    delay_ms(3900);

    output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
    output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
    delay_ms(100);
}

else if((value>=201)&&(value<=255)){
    output_high(PIN_C1); //Output high to RC1

```



```
output_high(PIN_C2); //Output high to RC2
```

```
delay_ms(3950);
```

```
output_low(PIN_C1); //Output low to RC1
```

```
output_low(PIN_C2); //Output low to RC2
```

```
delay_ms(50);
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```



**ภาคผนวก ข**  
**แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT**



## แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT

### การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT

การทดสอบระหว่างความแตกต่างที่เรียนโดยใช้ค่า F นั้นเป็นการทดสอบความแตกต่างของที่เรียนทั้งกลุ่มที่เรียนว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าที่เรียนใดแตกต่างกับที่เรียนใดบ้าง จะทราบก็ต่อเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของที่เรียนทีละคู่ตามที่สนใจอยากจะเปรียบเทียบอิทธิพลของที่เรียนที่สนใจ หรือเปรียบเทียบทุกคู่ของที่เรียน วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจะมีหลายวิธีที่นิยมคือ

-Least significant difference (LSD)

-Duncan's multiple range test (DMRT)

-Orthogonal

วิธี LSD การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และ สะดวกในการใช้แต่ก็มีข้อจำกัดคือ วิธีการนี้จะใช้กับการเปรียบเทียบในการศึกษาที่ที่เรียนไม่มาก ถ้าที่เรียนมากจะทำให้จำนวนคู่ของการเปรียบเทียบมีมาก ทำให้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมีโอกาสผิดพลาดได้มากขึ้น

วิธี DMRT จะมีความซับซ้อนมากกว่าการเปรียบเทียบแบบ LSD แต่การใช้วิธี DMRT นั้นจะใช้ได้ดีแม้จะมีจำนวนที่เรียนที่ศึกษาเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีนี้

วิธี Orthogonal การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีนี้เป็นวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของที่เรียนกับที่เรียน หรือระหว่างกลุ่มของที่เรียนก็ได้ โดยจะมีการวางแผนล่วงหน้าก่อนการทดลองว่า จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของที่เรียน หรือกลุ่มของที่เรียนใด ๆ ซึ่งจะต้องมีเหตุผลทางด้านวิชาการสนับสนุนในการเปรียบเทียบ ที่เรียนแต่ละคู่ หรือกลุ่มของที่เรียน

### ตัวอย่างการคำนวณ

การศึกษาเพื่อหาวิธีการกำจัดแมลงที่เหมาะสมในแปลงถั่วลิสง ซึ่งมีที่เรียนต่าง ๆ โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD มี 4 ซ้ำ ผลผลิตของถั่วลิสงเมื่อมีการกำจัดแมลงด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังตาราง

วิธีการกำจัดวัชพืช	ผลผลิตถั่วลิสงในไร่ (ตัน / ไร่)				ผลผลิตรวม (Ti)
	1	2	3	4	
ไม่มีการกำจัดวัชพืช	0.2	0.2	0.1	0.3	0.8
ใช้สารเคมีชนิด A	0.4	0.3	0.3	0.2	1.2
ใช้สารเคมีชนิด B	0.4	0.5	0.4	0.4	1.7
ใช้สารสกัดจากสะเดา	0.4	0.4	0.3	0.4	1.5
ใช้สารสกัดจากตะไคร้หอม	0.3	0.3	0.2	0	

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ขั้นตอนการคำนวณ

วิธีการกำจัดวัชพืช	ผลผลิตถั่วลิสงในไร่ (ตัน / ไร่)				ผลผลิตรวม (Ti)
	1	2	3	4	
ไม่มีการกำจัดวัชพืช	0.2	0.2	0.1	0.3	0.8
ใช้สารเคมีชนิด A	0.4	0.3	0.3	0.2	1.2
ใช้สารเคมีชนิด B	0.4	0.5	0.4	0.4	1.7
ใช้สารสกัดจากสะเดา	0.4	0.4	0.3	0.4	1.5
ใช้สารสกัดจากตะไคร้หอม	0.3	0.3	0.2	0.3	1.1

ตาราง ANOVA

SOV	df	S.S.	M.S.	F
Block	3	0.02	0.07	2.10
Treatment	4	0.12	0.031	9.00
Error	12	0.04	0.003	
Total	19	0.18		

1. เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์จากน้อยไปหามาก หรือมากไปหาน้อยเพื่อความเข้าใจจะบอกตัวอย่างการศึกษาวิธีการกำจัดแมลงที่มีต่อผลผลิตถั่วลิสง (ตารางที่ 1) สมมติว่ากรณีนี้เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์จากมากไปหาน้อย ได้ดังตาราง

ทรีตเมนต์	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)	ลำดับที่
3	0.43	1
4	0.38	2
2	0.30	3
5	0.28	4
1	0.20	5

2. คำนวณค่า standard error ของค่าเฉลี่ย

$$\begin{aligned}
 s_{\bar{Y}_i} &= \sqrt{\frac{MSE}{r}} \\
 &= \sqrt{\frac{0.003}{4}}
 \end{aligned}$$

3. คำนวณค่า shortest significant range สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้เรียงลำดับไว้แล้ว ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการจากสูตร

$$R_p = r p s_{\bar{Y}_i}$$

ค่า  $r p$  คือ significant studentized range ซึ่งได้จากการเปิดตาราง  $r p$  ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการและค่า  $df$  ที่ใช้คือ  $df$  ของ error  $p = 2, 3, 4, \dots, t$  คือจำนวนทรีตเมนต์ ได้ค่า  $r p$  และคำนวณค่า  $R_p$  ได้ดังตาราง

ตาราง ค่า P,  $r_p$  และ  $R_p$  ที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบ

P	$r_p$ (0.01) จากตาราง	$R_p$ จากการคำนวณ ( $R_p = r_p S_{yi}$ )
2	4.32	0.12
3	4.55	0.12
4	4.68	0.13
5	4.76	0.13

#### 4. ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ตามที่ได้จัดเรียงลำดับไว้ที่ละคู่ดัง

ตาราง

ตารางการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMRT และสรุปผลการทดสอบ

การเปรียบเทียบ	ลำดับที่เปรียบเทียบ	ทรีตเมนต์ที่เปรียบเทียบ	ผลต่างของค่าเฉลี่ย	ค่า P	ค่า $R_p$	ข้อสรุป
1	1 กับ 2	3 กับ 4	0.05	2	0.12	ไม่แตกต่างทางสถิติ
2	1 กับ 3	3 กับ 2	0.13	3	0.12	แตกต่างทางสถิติ
3	1 กับ 4	3 กับ 5	0.15	4	0.13	แตกต่างทางสถิติ
4	1 กับ 5	3 กับ 1	0.23	5	0.13	แตกต่างทางสถิติ
5	2 กับ 3	4 กับ 2	0.08	2	0.12	ไม่แตกต่างทางสถิติ
6	2 กับ 4	4 กับ 5	0.10	3	0.12	ไม่แตกต่างทางสถิติ
7	2 กับ 5	4 กับ 1	0.18	4	0.13	แตกต่างทางสถิติ
8	3 กับ 4	2 กับ 5	0.02	2	0.12	ไม่แตกต่างทางสถิติ
9	3 กับ 5	2 กับ 1	0.10	3	0.12	ไม่แตกต่างทางสถิติ
10	4 กับ 5	5 กับ 1	0.08	2	0.12	ไม่แตกต่างทางสถิติ

5. แสดงผลการทดสอบทางสถิติ การแสดงผลการเปรียบเทียบ โดยวิธี DMRT นิยมเขียนตัวอักษรกำกับไว้เหนือตัวเลขค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ โดยค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันจะถูกกำกับด้วยอักษรที่เหมือนกัน ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดังตาราง

### การทดลองที่มีแผนแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD หรือ RBD)

เป็นการทดลองที่มีการผันแปรของปัจจัย 2 ทาง โดยสิ่งทดลองนั้นมักมีมากกว่า 2 สิ่งทดลองเป็นต้นไป แบบหุ่นของแผนการทดลองแบบนี้ คือ

การตั้งสมมติฐาน  $H_0: \mu_1 = \mu_2, H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

$H_0: \mu_{B1} = \mu_{B2}, H_a: \mu_{B1} \neq \mu_{B2}$

แบบหุ่นจำลอง  $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$

$Y_{ij}$  คือ ค่าการสังเกตที่สิ่งทดลองที่ซ้ำที่  $j$

$\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

$T_i$  คือ อิทธิพล (Effect) จากสิ่งทดลองที่  $i$

$B_j$  คือ อิทธิพล (Effect) จากบล็อกที่  $j$

$E_{ij}$  คือ Experimental Error หรือ Random Error

แผนการทดลองแบบบล็อก หน่วยทดลองมีความแปรปรวน 1 ลักษณะ (ไม่สม่ำเสมอ) โดยจะจัดกลุ่มหรือแยกประเภทสิ่งๆ ที่เหมือนกันไว้กลุ่มเดียวกัน ประเภทที่แบ่งเรียกว่าบล็อก (block) โดยกลุ่มแต่ละกลุ่มต้องมีความสม่ำเสมอ ระหว่างบล็อกต้องมีความแตกต่างกันมาก บล็อกที่มีความสมบูรณ์ ในแต่ละบล็อกจะต้องได้รับ Treatment ทุก Treatment ที่มีในการทดลอง

**ตัวอย่างที่ 3.2** ในการศึกษาการใช้สารประกอบฟอสเฟต 3 ชนิด คือ Sodium Tripolyphosphate (STPP), Hexametaphosphate (SHMP) และ Sodium Acid Pyrophosphate (SAPP) ที่ระดับ 0.3 % เพื่อศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แทนมเปรียบเทียบกับแทนมที่ไม่ได้ใช้สารฟอสเฟตแต่อย่างใด (ชุดควบคุม) โดยการทดลองนำเนื้อหมูมาจากตลาดแหล่งเดียวกัน และสามารถจัดซื้อได้ 5 เกรด (หมูเนื้อแดงล้วน หมูติดมัน 25% 30% และ 40%) เมื่อผลิตเสร็จ ทำการหมักที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และทำการวัดปริมาณน้ำที่สูญเสีย

เกรดหุ้ม	การสูญเสียน้ำหนัก (%)			
	Tr1 (control)	Tr2(STPP)	Tr3(SHMP)	Tr4(SAPP)
A	5.21	3.01	4.26	2.25
B	5.97	3.82	4.54	2.43
C	5.62	3.64	4.46	2.21
D	5.72	3.76	4.48	2.39
E	5.16	3.00	4.10	2.10

**การตั้งสมมติฐาน :** โดยเฉลี่ยแล้วการใช้สารฟอสเฟต 3 ชนิด และ control ทำให้การสูญเสียน้ำหนักเท่ากัน

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$H_A$  : มี  $\mu$  อย่างน้อย 1 ตัวมีค่าไม่เท่ากัน

$$H_0 : \mu_{B1} = \mu_{B2} = \mu_{B3} = \mu_{B4}$$

$H_A$  : มี  $\mu_B$  อย่างน้อย 1 ตัวมีค่าไม่เท่ากัน

แผนการทดลองแบบบล็อก หน่วยทดลองมีความแปรปรวน 1 ลักษณะ(ไม่สม่ำเสมอ) โดยจะจัดกลุ่มหรือแยกประเภทสิ่งๆที่เหมือนกันไว้กลุ่มเดียวกัน ประเภทที่แบ่งเรียกว่าบล็อก (block) โดยกลุ่มแต่ละกลุ่มต้องมีความสม่ำเสมอ ระหว่างบล็อกต้องมีความแตกต่างกันมาก บล็อกที่มีความสมบูรณ์ ในแต่ละบล็อกจะต้องได้รับ Treatment ทุก Treatment ที่มีในการทดลอง

- การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SXW 7.0

• ป้อนข้อมูล โดยเพิ่มตัวแปรโดยใช้เมนู Data \ Insert \ Variables โดยตั้งชื่อตัวแปรให้สั้น กระทัดรัด อาจพิมพ์ว่า TRT BLOCK (โดยให้เกรคเนื้อหุ้มเป็นบล็อก) LOSS เมื่อคลิก OK จะแสดง Work sheet จากนั้นป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูล จะเห็นได้ว่า เนื้อแต่ละเกรคจะเป็นบล็อก ในแต่ละบล็อกจะได้จะได้รับสิ่งทดลองครบทุกสิ่งทดลอง ดังนั้น จึงถือว่าใช้บล็อกเป็นซ้ำ ซึ่งทุกสิ่งทดลองจะทำ 5 ซ้ำ ในการป้อนข้อมูลลงใน Work sheet จะเหมือนการวิเคราะห์ CRD ทุกประการ เพียงแต่อาจเปลี่ยนชื่อตัวแปรจาก REP เป็น BLOCK ส่วนที่แตกต่างในการวิเคราะห์ก็คือ AOV model โดยจะใช้ model ดังนี้ TRT PEP TRT\*REP(E) โดยเพิ่มตัวแปร REP ใน model เพื่อแยกหรือคำนวณความแปรปรวนที่เกิดจาก REP หรือ BLOCK ดังกล่าว โดยตัวแปร REP อาจอยู่ก่อนหรือหลัง Error เทอม (แต่แนะนำให้อยู่ก่อนหน้า Error เทอม) ในกรณีที่ Block ไม่มีความแตกต่างอย่าง



มีนัยสำคัญ (ค่า P มากกว่า 0.05) ก็อาจทำการวิเคราะห์ใหม่โดยการรวม Block เข้ากับ Experimental Error (ไม่วิเคราะห์ Block) เป็นการวิเคราะห์แบบ CRD เพื่อให้ sensitive มากขึ้น

	TRT	BLOCK	LOSS
1	1	1	5.21
2	1	2	5.97
3	1	3	5.62
4	1	4	5.72
5	1	5	5.16
6	2	1	3.01
7	2	2	3.82
8	2	3	3.64
9	2	4	3.76
10	2	5	3
11	3	1	4.26
12	3	2	4.54
13	3	3	4.46
14	3	4	4.48
15	3	5	4.1
16	4	1	2.25
17	4	2	2.43
18	4	3	2.21
19	4	4	2.39
20	4	5	2.1

รูปที่ 3.7 การป้อนข้อมูลสำหรับวิเคราะห์การทดลองแบบ RBD

General AOV/AOCV

Variables: BLOCK, TRT

Dependent Variable: LOSS

AOV Model Statement: TRT BLOCK TRT\*BLOCK(E)

Covariables (Optional):

OK Cancel Help

รูปที่ 3.8 การวิเคราะห์ผล RBD โดย SXW

ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE FOR LOSS**

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
TRT (A)	3	28.6942	9.56474	422.27	0.0000
BLOCK (B)	4	1.07703	0.26926	11.89	0.0004
A*B	12	0.27181	0.02265		
TOTAL	19	30.0431			

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าการคำนวณ Effect ที่เกิดจากบล็อกด้วย ซึ่ง Block มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P น้อยกว่า 0.05) ส่วน TRT ก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P น้อยกว่า 0.05) จึงทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ของ TRT และ BLOCK โดยวิธี LSD

**LSD (T) COMPARISON OF MEANS OF LOSS BY TRT**

TRT	MEAN	HOMOGENEOUS GROUPS
1	5.5360	I
3	4.3680	.. I
2	3.4460	.... I
4	2.2760	..... I

ALL 4 MEANS ARE SIGNIFICANTLY DIFFERENT FROM ONE ANOTHER.

CRITICAL T VALUE	2.179	REJECTION LEVEL	0.050
CRITICAL VALUE FOR COMPARISON	0.2074		
STANDARD ERROR FOR COMPARISON	0.0952		

ERROR TERM USED: TRT\*BLOCK, 12 DF

จากผลการวิเคราะห์ เห็นได้ว่าสามารถแบ่งกลุ่มของสิ่งทดลองเป็น 4 กลุ่มโดยพิจารณาจาก Homogeneous groups ซึ่งมี 4 คอลัมน์ โดยให้คอลัมน์ที่ 1 เป็นกลุ่มที่ 1 โดยอาจให้สัญลักษณ์ คอลัมน์แรกเป็น a และคอลัมน์ที่ 2, 3 และ 4 เป็น b, c และ d ตามลำดับ เมื่อนำมาสรุปค่าเฉลี่ยที่แบ่งกลุ่ม จะสรุปได้ดังนี้

สิ่งทดลอง	ค่าเฉลี่ย
1	5.53 <sup>a</sup>
2	4.36 <sup>b</sup>
3	3.44 <sup>c</sup>
4	2.27 <sup>d</sup>

LSD (T) COMPARISON OF MEANS OF LOSS BY BLOCK

BLOCK	MEAN	HOMOGENEOUS GROUPS
2	4.1900	I
4	4.0875	I
3	3.9825	I
1	3.6825	.. I
5	3.5900	.. I

THERE ARE 2 GROUPS IN WHICH THE MEANS ARE NOT SIGNIFICANTLY DIFFERENT FROM ONE ANOTHER.

CRITICAL T VALUE	2.179	REJECTION LEVEL	0.050
CRITICAL VALUE FOR COMPARISON	0.2319		
STANDARD ERROR FOR COMPARISON	0.1064		

ERROR TERM USED: TRT\*BLOCK, 12 DF

จากผลการวิเคราะห์ เห็นได้ว่าสามารถแบ่งกลุ่มของบล็อกเป็น 4 กลุ่มโดยพิจารณาจาก Homogeneous groups ซึ่งมี 4 คอลัมน์ โดยให้คอลัมน์ที่ 1 เป็นกลุ่มที่ 1 โดยอาจให้สัญลักษณ์ คอลัมน์แรกเป็น a และคอลัมน์ที่ 2, 3 และ 4 เป็น b, c และ d ตามลำดับ เมื่อนำมาสรุปค่าเฉลี่ยที่แบ่งกลุ่ม จะสรุปได้ดังนี้

บล็อก	ค่าเฉลี่ย
1	3.68 <sup>b</sup>
2	4.19 <sup>a</sup>
3	3.98 <sup>a</sup>
4	4.08 <sup>a</sup>
5	3.59 <sup>b</sup>

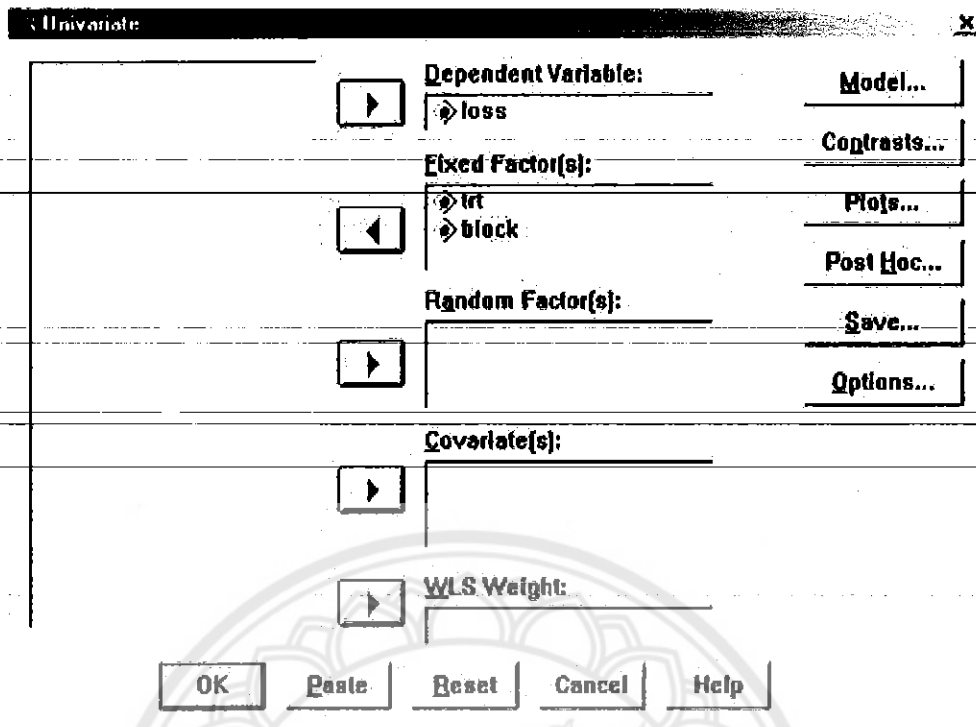
จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า สิ่งทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มี % การสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสิ่งทดลองที่ 4 (SAPP) ทำให้ค่าการสูญเสียของน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีน้อยที่สุด ดังนั้น สารประกอบฟอสเฟตที่เหมาะสมในการใช้ในการรักษาน้ำหนักของ แหนม คือ Sodium Acid Pyrophosphate (SAPP)

ส่วนผลของบล็อก พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถแบ่งบล็อกได้เป็น 2 กลุ่ม บล็อกที่ 2 3 และ 4 จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน คือ ทำให้ค่าการสูญเสียของน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน ซึ่งบล็อกที่ 2-3 และ 4 จะแตกต่างกับ บล็อกที่ 1 และ 5 ดังนั้น ในการนำมาใช้ จะสามารถเลือกใช้ บล็อกที่ 1 ( หมูเนื้อแดงล้วน) หรือ 5 ( หมูติดมัน 40 % ) ก็ได้ เนื่องจาก ทำให้ ค่า การสูญเสียของน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน โดยอาจพิจารณาจากราคาดัชนีของเนื้อหมู ว่าเนื้อหมูส่วนใดมีราคาถูกกว่ากัน จึงเลือกมาทำเป็นหน่วยทดลองในคราวต่อไป

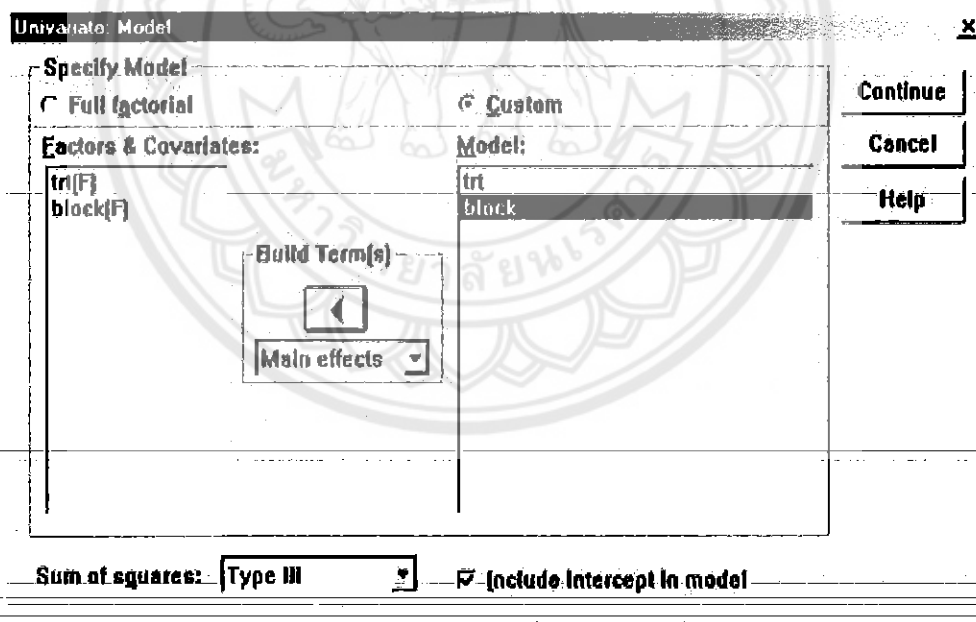
#### - การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS

สำหรับการป้อนข้อมูล มีลักษณะของข้อมูลแบบเดียวกับที่ป้อนใน SXW คือ แบ่งตัวแปรเป็น 3 ตัวแปร ในการวิเคราะห์โดยเลือกเมนู Analyze \ General Linear Model \ Univariate จากนั้นให้เลือกตัวแปรตามลงในช่อง D ependent Variable โดยเลือกตัวแปรอิสระได้แก่ สิ่งทดลอง และเพิ่มตัวแปรที่เป็นบล็อกลงในช่อง Fixed Factor และในส่วนของ Model นั้น จำเป็นต้องกำหนดแบบ

Custom กล่าวคือ ให้เลือก Model แบบ Custom จากนั้นเลือกตัวแปรจากช่อง Factors& Covariates สำหรับ RCBD Model ที่ต้องการคือ Main effect ของสิ่งทดลองและบล็อก โดยเลือกตัวแปร TRT และ REP ทีละตัวแปร เลือก build term เป็น Main Effect จากนั้น คลิกปุ่มที่ build term เพื่อให้ตัวแปรทั้งสองเข้าไปอยู่ในช่อง Model และ continue เลือก Post hoc ตามต้องการ ให้สังเกตว่า ตัวแปรที่สามารถทดสอบ Post hoc มี BLOCK เพิ่มมาด้วย(เลือกในกรณีที่มี BLOCK แตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญ)



รูปที่ 3.9 การเลือกตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ RCBD ใน SPSS



รูปที่ 3.10 การกำหนด Model สำหรับวิเคราะห์ RCBD ใน SPSS

ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

Tests of Between-Subjects Effects

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOSS  
LSD

(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	2.0900*	9.519E-02	.000	1.8826	2.2974
	3	1.1680*	9.519E-02	.000	.9606	1.3754
	4	3.2600*	9.519E-02	.000	3.0526	3.4674
2	1	-2.0900*	9.519E-02	.000	-2.2974	-1.8826
	3	-.9220*	9.519E-02	.000	-1.1294	-.7146
	4	1.1700*	9.519E-02	.000	.9626	1.3774
3	1	-1.1680*	9.519E-02	.000	-1.3754	-.9606
	2	.9220*	9.519E-02	.000	.7146	1.1294
	4	2.0920*	9.519E-02	.000	1.8846	2.2994
4	1	-3.2600*	9.519E-02	.000	-3.4674	-3.0526
	2	-1.1700*	9.519E-02	.000	-1.3774	-.9626
	3	-2.0920*	9.519E-02	.000	-2.2994	-1.8846

Based on observed means.

The mean difference is significant at the .05 level.

จากผลการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาค่า Sig ของ TRT และ BLOCK ปรากฏว่า มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า สิ่งทดลองและบล็อกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOSS  
LSD

(I) TRT	(J) TRT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	2.0900*	9.519E-02	.000	1.8826	2.2974
	3	1.1680*	9.519E-02	.000	.9606	1.3754
	4	3.2600*	9.519E-02	.000	3.0526	3.4674
2	1	-2.0900*	9.519E-02	.000	-2.2974	-1.8826
	3	-.9220*	9.519E-02	.000	-1.1294	-.7146
	4	1.1700*	9.519E-02	.000	.9626	1.3774
3	1	-1.1680*	9.519E-02	.000	-1.3754	-.9606
	2	.9220*	9.519E-02	.000	.7146	1.1294
	4	2.0920*	9.519E-02	.000	1.8846	2.2994
4	1	-3.2600*	9.519E-02	.000	-3.4674	-3.0526
	2	-1.1700*	9.519E-02	.000	-1.3774	-.9626
	3	-2.0920*	9.519E-02	.000	-2.2994	-1.8846

Based on observed means.

The mean difference is significant at the .05 level.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: LOSS

LSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) BLOCK	(J) BLOCK				Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.5075*	.1064	.000	-.7394	-.2756
	3	-.3000*	.1064	.015	-.5319	-6.8129E-02
	4	-.4050*	.1064	.003	-.6369	-.1731
	5	9.250E-02	.1064	.402	-.1394	.3244
2	1	.5075*	.1064	.000	.2756	.7394
	3	.2075	.1064	.075	-2.4371E-02	.4394
	4	.1025	.1064	.354	-.1294	.3344
3	1	.3000*	.1064	.015	6.813E-02	.5319
	2	-.2075	.1064	.075	-.4394	2.437E-02
	4	-.1050	.1064	.343	-.3369	.1269
4	1	.4050*	.1064	.003	.1731	.6369
	2	-.1025	.1064	.354	-.3344	.1294
	3	.1050	.1064	.343	-.1269	.3369
	5	.4975*	.1064	.001	.2656	.7294
5	1	-9.2500E-02	.1064	.402	-.3244	.1394
	2	-.6000*	.1064	.000	-.8319	-.3681
	3	-.3925*	.1064	.003	-.6244	-.1606
	4	-.4975*	.1064	.001	-.7294	-.2656

Based on observed means.

\* The mean difference is significant at the .05 level.

และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ TRT แบบ LSD สังเกตคอลัมน์แรก แถวแรกที่มี TRT (I) คือ 1 และ TRT (J) คือ 2 3 และ 4 และคอลัมน์ที่ 2 คือค่า Mean Difference (I-J) หากไม่มี \* แสดงว่า TRT (I) ไม่มีความแตกต่างกับ TRT (J) คือ สิ่งทดลอง 1 ไม่มีความแตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 2 3 และ 4 แต่ในกรณีนี้มี \* ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า TRT 1 2 3 และ 4 แตกต่างกัน

ส่วน BLOCK พบว่า เมื่อสังเกตคอลัมน์แรก แถวแรกที่มี TRT (I) คือ 1 และ TRT (J) คือ 2 3 4 และ 5 หากไม่มี \* แสดงว่า TRT (I) ไม่มีความแตกต่างกับ TRT (J) คือ สิ่งทดลอง 1 ไม่มีความแตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 5 และแถวที่สองที่มี TRT (I) คือ 2 และ TRT (J) คือ 1 3 4 และ 5 หากไม่มี \* แสดงว่า TRT (I) ไม่มีความแตกต่างกับ TRT (J) คือ สิ่งทดลอง 2 ไม่มีความแตกต่างกับสิ่งทดลองที่ 3 และ 4





**CE**  
CHENYI ELECTRONICS

## 1N4933 THRU 1N4937

**FAST RECOVERY RECTIFIER**

Reverse Voltage - 50 to 600 Volts

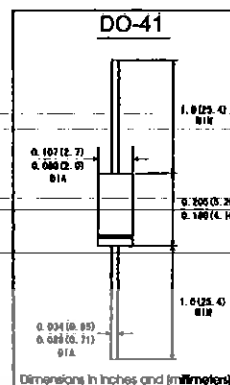
Forward Current - 1.0 Amperes

### FEATURES

- Plastic package has Underwriters Laboratory
- Flammability Classification 94V-0
- Fast switching speed
- Construction utilizes void-free molded plastic technique
- 1.0A operation at  $T_A=75^{\circ}\text{C}$  with no terminal runaway
- High temperature soldering permitted:  $250^{\circ}\text{C}$  /10 seconds
- 0.375"(9.5mm) lead length (2.5kg) minimum

### MECHANICAL DATA

- Case: JEDEC DO-41 molded plastic body
- Terminals: lead solderable per MIL-STD-750, method 2028
- Polarity: Color band denotes cathode end
- Mounting Position: Any
- Weight: 0.022 ounce, 0.34 gram



### MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Ratings at  $25^{\circ}\text{C}$  ambient temperature unless otherwise specified, Single phase, half wave 60 Hz, relative or inductive)

load. For capacitive load, derate current by 20%

	Symbols	1N4933	1N4934	1N4935	1N4936	1N4937	Units
Maximum repetitive peak reverse voltage	$V_{RRM}$	50	100	200	400	600	Volts
Maximum RMS voltage	$V_{RMS}$	35	70	140	280	420	Volts
Maximum DC blocking voltage	$V_{DC}$	60	100	200	400	600	Volts
Maximum average forward rectified current 0.375"(9.5mm) lead length at $T_A=75^{\circ}\text{C}$	$I_{AV}$			1.0			Amp
Peak forward surge current 0.2ms sine wave superimposed on rated load (JEDEC method) $T_A=75^{\circ}\text{C}$	$I_{FSM}$			50.0			Amps
Maximum instantaneous forward voltage at 1.0 A	$V_F$			1.3			Volts
Maximum DC Reverse Current at rated DC blocking voltage	$I_R$			5.0			$\mu\text{A}$
Maximum full load reverse current full cycle average, 0.375"(9.5mm) lead length at $T_L=55^{\circ}\text{C}$				100			
Maximum reverse recovery time (Note 1)	$T_{rr}$			200.0			ns
Typical Junction Capacitance (Note 2)	$C_j$			15.0			pF
Operating and storage temperature range	$T_j, T_{STG}$			-65 to +150			$^{\circ}\text{C}$

Notes: 1. Test conditions:  $I_F=0.5\text{A}$ ,  $I_R=1.0\text{A}$ ,  $I_T=0.25\text{A}$ .

2. Measured at 1MHz and applied reverse voltage of 4.0V Volts



Part No. : ELE-CH060971311  
 Manufacture No. : IR2110  
 1  Add to order  
 User rating : ★ ★ ★ ☆ ☆

Qty Unit Price  
 1 - 9 ฿68.47  
 10 - 99 ฿63.91  
 100 - more ฿59.35

ผู้จำหน่าย 105 ครั้ง โดยคะแนนสินค้าดี ☆ ☆ ☆ ☆ ☆

ข้อมูลสินค้าภาพสังเขป รายละเอียดสินค้า ข้อมูลไฟล์ดาวน์โหลด ความคิดเห็นผู้ใช้งาน สินค้าในหมวดเดียวกัน

High and Low Side Driver

# International IOR Rectifier

Data Sheet No. PD60147 rev.U

## IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

### HIGH AND LOW SIDE DRIVER

#### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation Fully operational to +500V or +600V Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
 Separate logic supply range from 3.3V to 20V Logic and power ground ±5V offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

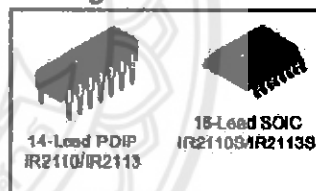
#### Product Summary

V <sub>OFFSET</sub> (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
I <sub>OT</sub> /-	2A / 2A
V <sub>OUT</sub>	10 - 20V
t <sub>on/off</sub> (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

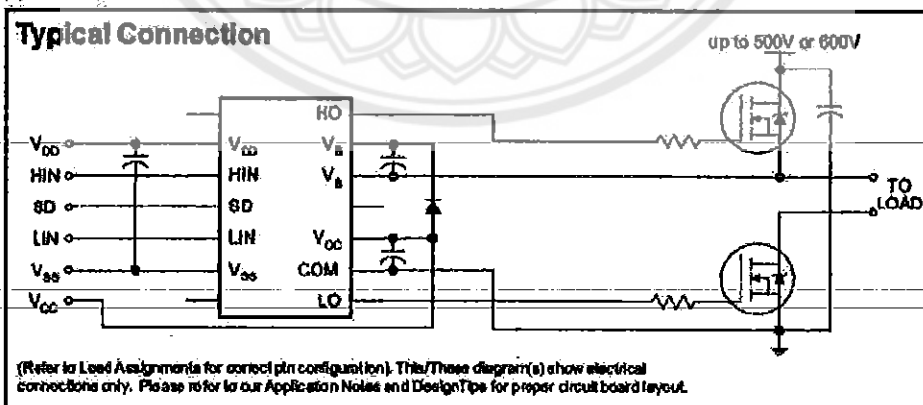
#### Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

#### Packages



#### Typical Connection





Certificate Number: Q10561



Certificate Number: E37276

## BR1000 - BR1010

**PRV : 50 - 1000 Volts**

**Io : 10 Amperes**

### FEATURES :

- High current capability
- High surge current capability
- High reliability
- Low reverse current
- Low forward voltage drop
- Ideal for printed circuit board
- Pb / RoHS Free

### MECHANICAL DATA :

- Case : Reliable low cost construction utilizing molded plastic technique
- Epoxy : UL94V-0 rate flame retardant
- Lead : Axial lead solderable per MIL - STD 202 , Method 208 guaranteed
- Polarity : Polarity symbols marked on case
- Mounting position : Any
- Weight : 6.1 grams

### MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

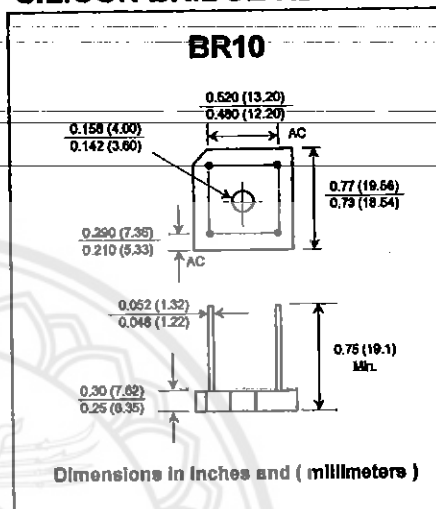
Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.  
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%.

RATING	SYMBOL	BR1000	BR1001	BR1002	BR1004	BR1006	BR1008	BR1010	UNIT
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	$V_{RRM}$	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	$V_{RMS}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	$V_{DC}$	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Current $T_c=55^\circ\text{C}$	$I_{F(AV)}$	10							A
Peak Forward Surge Current Single half sine wave Superimposed on rated load (JEDEC Method)	$I_{FSM}$	300							A
Current Squared Time at $t < 8.3 \text{ ms}$ .	$I^2t$	160							$\text{A}^2\text{S}$
Maximum Forward Voltage per Diode at $I_F = 5 \text{ A}$	$V_F$	1.0							V
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage	$I_R$	10							$\mu\text{A}$
	$I_{R(10)}$	200							$\mu\text{A}$
Typical Thermal Resistance (Note 1)	$R_{\theta JC}$	2.5							$^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature Range	$T_J$	- 40 to + 150							$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	- 40 to + 150							$^\circ\text{C}$

#### Notes :

1. Thermal Resistance from junction to case with units mounted on a 3.2" x 3.2" x 0.12" (8.2cm x 8.2cm x 0.3cm.) AL-Finned Plate.

## SILICON BRIDGE RECTIFIERS





## IRFP450

### N - CHANNEL 500V - 0.33Ω - 14A - TO-247 PowerMESH™ MOSFET

TYPE	V <sub>DSS</sub>	R <sub>DS(on)</sub>	I <sub>D</sub>
IRFP450	500 V	< 0.4 Ω	14 A

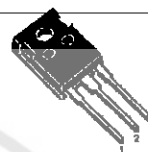
- TYPICAL R<sub>DS(on)</sub> = 0.33 Ω
- EXTREMELY HIGH dv/dt CAPABILITY
- 100% AVALANCHE TESTED
- VERY LOW INTRINSIC CAPACITANCES
- GATE CHARGE MINIMIZED

#### DESCRIPTION

This power MOSFET is designed using the company's consolidated strip layout-based MESH OVERLAY™ process. This technology matches and improves the performances compared with standard parts from various sources.

#### APPLICATIONS

- HIGH CURRENT SWITCHING
- UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)
- DC/DC CONVERTERS FOR TELECOM, INDUSTRIAL, AND LIGHTING EQUIPMENT.



TO-247

#### INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>DS</sub>	Drain-source Voltage (V <sub>GS</sub> = 0)	500	V
V <sub>DGR</sub>	Drain- gate Voltage (R <sub>GS</sub> = 20 kΩ)	500	V
V <sub>GS</sub>	Gate-source Voltage	± 20	V
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>c</sub> = 25 °C	14	A
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>c</sub> = 100 °C	8.7	A
I <sub>DM(*)</sub>	Drain Current (pulsed)	56	A
P <sub>tot</sub>	Total Dissipation at T <sub>c</sub> = 25 °C	190	W
	Derating Factor	1.5	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	3.5	V/ns
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	-85 to 150	°C
T <sub>J</sub>	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

(\*) Pulse width limited by safe operating area

(1) I<sub>SD</sub> ≤ 14 A, di/dt ≤ 130 A/μs, V<sub>DS</sub> ≤ V<sub>DSS(max)</sub>, T<sub>J</sub> ≤ T<sub>JMAX</sub>

## ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายธีรพงษ์ ติลา

ภูมิลำเนา 138 หมู่ 13 ต.ลานบัว อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ 67110

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนหล่มสักวิทยาคม  
จังหวัดเพชรบูรณ์

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Aof\_elec\_engi@hotmail.com



ชื่อ นางสาวพัชรี วิโซสง

ภูมิลำเนา รพ.ค่ายพ่อขุนผาเมือง ค่ายพ่อขุนผาเมือง ต.สะเดียง อ.เมือง  
จ.เพชรบูรณ์ 67000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเซนต์โยเซฟศรีเพชรบูรณ์  
จังหวัดเพชรบูรณ์

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: B\_Breezann@hotmail.com